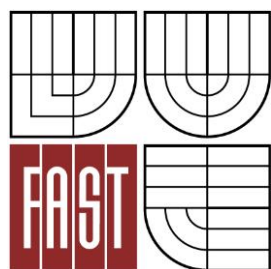




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A
DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

VÝVOJ SÁDROVÝCH PRVKŮ JAKO SOUČÁSTI KOMPLEXNÍHO PŘÍČKOVÉHO SYSTÉMU

DEVELOPMENT OF GYPSUM ELEMENTS AS PART OF A COMPLEX PARTITION SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ZBYNĚK SKOUPIL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DOMINIK GAZDIČ, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Zbyněk Skoupil

Název Vývoj sádrových prvků jako součásti
komplexního příčkového systému

Vedoucí bakalářské práce Ing. Dominik Gazdič, Ph.D.

**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2012

**Datum odevzdání
bakalářské práce** 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Zprávy projektu MPO TIP FR-TI2/653 2006-2012. Sborníky konferencí Maltoviny 2006-2011.

ČSN EN 12859: Sádrové tvárnice - Definice, požadavky a zkušební metody

Moore, W. J.: Fyzikální chemie, SNTL 1979

Hlaváč, J.: Základy technologie silikátů, SNTL 1988

Vavřín, F.: Maltoviny, Vysoké učení technické v Brně, 1979

Šauman, Z.: Maltoviny I, Vysoké učení technické v Brně, 1993.

Zásady pro vypracování

V návaznosti na vývoj vysokohodnotné sádry je náplní bakalářské práce návrh poloprovodní formy a po její výrobě odlev a stanovení technologických i aplikačních vlastností sádrové tvarovky. Na základě dosažených výsledků bude navržena event. dodatečná úprava formy, příp. optimalizováno složení sádrové hmoty.

V rámci práce proved'te:

- studii obecné teorie síranových pojiv, zaměřenou zejména na vysokohodnotnou sádru, a to na základě dostupné zahraniční a tuzemské literatury a poznatků z dřívějších etap výzkumu v dané problematice na ústavu THD,
- studium potřebných normových požadavků na sádrová pojiva a sádrové tvarovky,
- návrh a zhotovení poloprovodní formy, následný odlev a stanovení základních normových vlastností vyrobené tvarovky,
- vyhodnocení výsledků, návrh příp. úprav formy nebo sádrové hmoty, závěrečné shrnutí.

Rozsah práce cca 40 stran formátu A4 včetně příloh.

Předepsané přílohy

.....
Ing. Dominik Gazdič, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Práce se zabývá vývojem sádrových prvků jako součásti komplexního příčkového systému v návaznosti na vývoj vysokohodnotné sádry.

První část práce se věnuje teoretickým poznatkům v oblasti síranových pojiv se zaměřením na jejich použití pro výrobu sádrových příčkových tvárnic a dále studii normy týkající se těchto tvarovek. Druhá část je zaměřena na návrh poloprovozní formy, odlev tvarovky, stanovení jejich vlastností a ověření normových požadavků.

Klíčová slova

Síranová pojiva, vysokohodnotná sádra, sádrová příčková tvarovka, poloprovozní forma.

Abstrakt

The thesis is oriented on development of gypsum elements as part of a complex partition system in continuation of high – valuable gypsum plaster development.

The first part of the task is dedicated to a theoretical knowledge in the field of gypsum binders, especially is focused on their application in manufacture of gypsum partition block and study of standard requirement. Second part is focused on designing of the trial mold, pouring of the block and assessment of gained data.

Keywords

Gypsum binder, high – valuable gypsum plaster, gypsum partition block, trial mold.

Bibliografická citace VŠKP

SKOUPIL, Zbyněk. *Vývoj sádrových prvků jako součásti komplexního příčkového systému*. Brno, 2013. 60 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Dominik Gazdič, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23.5.2013

.....
podpis autora
Zbyněk Skoupil

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěl poděkovat zejména panu Ing. Dominiku Gazdičovi, Ph.D., za odborné a pedagogické vedení, dále pak paní Prof. Ing. Marcele Fridrichové, CSc. a všem zaměstnancům ÚTHD FAST VUT Brno, kteří mi v průběhu bakalářské práce pomáhali.

Obsah

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1. TEORIE SÍRANOVÝCH POJIV	11
2. DRUHY SÁDROVÝCH MALTOVIN	11
2.1 Rychle tuhnoucí sádra	12
2.1.1 α -CaSO ₄ ·0,5H ₂ O	12
2.1.2 β -CaSO ₄ ·0,5H ₂ O	12
2.2 Anhydritové maltoviny	13
2.3 Pomalu tuhnoucí sádra	14
3. SUROVINY PRO VÝROBU	15
3.1 Přírodní sádrovec	15
3.1.1 Naleziště	17
3.2 Syntetický sádrovec	17
3.2.1 Energosádrovec	17
3.2.2 Chemosádrovec	20
3.2.2.1 Titano-sádrovec	21
3.2.2.2 Fosfosádrovec	21
4. TEORETICKÉ PODKLADY VÝROBY	22
5. TECHNOLOGIE VÝROBY SÁDROVÝCH POJIV	23
5.1 Výroba β – sádry	23
5.2 Výroba α – sádry	25
6. HYDRATACE SÁDRY	26
6.1 Přísady ovlivňující tuhnutí dle Ratinova	28
7. VLASTNOSTI SÁDRY	28
7.1 Pevnost a přetváření	29
7.2 Vlhkost	29
7.3 Tepelně technické vlastnosti	30
7.4 Výztuž	30
7.5 Normy týkající se sádrových pojiv	30
8. POUŽITÍ SÁDROVÝCH POJIV	31
8.1 Výrobky na bázi α -sádry	31
8.2 Použití anhydritových maltovin	31
8.3 Použití β -sádry	32
8.3.1 Maltové a omítkové směsi	32
8.3.2 Sádrokartonové desky	32
8.3.3 Sádrovláknité desky	33
9. SÁDROVÉ PŘÍČKOVÉ TVAROVKY	33
9.1 Stav výroby v České republice a v zahraničí	33
9.2 Surovina a výrobní proces	34
9.3 Výhody použití	34
9.4 Technické údaje	35
9.5 Požadavky na sádrové tvárnice dle ČSN EN 12859	35
9.5.1 Chování při požáru	35
9.5.2 Vzduchová neprůzvučnost	35
9.5.3 Tepelné vlastnosti	36
9.5.4 Druhy sádrových tvární	36
9.5.5 Rozměry	37
9.5.6 Rovinnost sádrových tvární	37

9.5.7 Objemová hmotnost	37
9.5.8 Nasákavost	37
9.5.9 Obsah vlhkosti	38
9.5.10 Pevnost v tahu za ohybu	38
9.5.11 pH	39
9.6 Zkušební metody vybraných základních zkoušek dle ČSN EN 12859	39
9.6.1 Měření rozměrů	39
9.6.2 Rovinnost	40
9.6.3 Objemová hmotnost	40
9.6.4 Pevnost v tahu za ohybu	40
9.6.5 pH	41
II EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	42
1. CÍL	42
2. METODIKA PRÁCE	42
3. POSTUP PRÁCE	43
3.1 První etapa	43
3.1.1 Návrh poloprovozní formy	43
3.2 Druhá etapa	43
3.2.1 Odlev tvarovky	44
3.2.1.1 Receptura	44
3.2.2 Provedení zkoušek dle normy ČSN EN 12589	44
3.2.2.1 Stanovení rozměrů	45
3.2.2.2 Rovinnost	45
3.2.2.3 Objemová hmotnost	45
3.2.2.4 Pevnost v tahu za ohybu	45
3.2.2.5 pH	46
4. POUŽITÉ SUROVINY A PŘÍSTROJE	46
4.1 Suroviny	46
4.1.1 β -sádra	46
4.1.2 Plastifikátor	47
4.1.3 Retardant	47
4.2 Přístroje	47
5. VYHODNOCENÍ	47
5.1 První etapa	47
5.1.1 Konstrukce formy	47
5.1.2 Použití formy	48
5.2 Druhá etapa	52
5.2.1 Naměřené hodnoty	52
6. DISKUZE VÝSLEDKŮ A NÁVRHY MOŽNÝCH ÚPRAV	54
ZÁVĚR	56
SEZNAM LITERATURY	57
SEZNAM TABULEK	59
SEZNAM OBRÁZKŮ	60

ÚVOD

V současné době je výroba síranových pojiv na vzestupu, jelikož je k ní zapotřebí méně energie vzhledem k nižším teplotám výpalu suroviny. K jejich výrobě je také možno využít sekundárních produktů různých průmyslových výrob, jako je energetický a chemický průmysl. To ze sádrových pojiv činí z ekonomického a také enviromentálního hlediska velmi atraktivní produkt.

Síranová pojiva nalézají širokou škálu uplatnění, z nichž jedním je mimo jiné výroba sádrových příčkových tvarovek, na jejichž vývoj je tato práce zaměřena. V zahraničí jsou sádrové tvárnice rozšířeným produktem výroby, nicméně v České republice je ze surovinových důvodů ojedinělá. V současné době probíhá výzkum a výroba pouze společností Gypstrend, s.r.o., která vyrábí produkt pod firemním označením SUPERBLOK.

Sádrová tvarovka je perspektivním výrobkem jednak z výše uvedených důvodů ekonomických a ekologických, ale také z pohledu na její technologické a fyzikálně-technické výhody. Těmi jsou především tvarová přesnost a rozměrová stálost, rychlá a snadná montáž, povrchová úprava stěny přímo na připravené zdivo bez omítání, požární odolnost, akustická izolace a zdravé mikroklima interiéru. Proto je v zájmu, aby výzkum a vývoj sádrové příčkové tvarovky probíhal v širším rozsahu.

I TEORETICKÁ ČÁST

1. TEORIE SÍRANOVÝCH POJIV

Síranová pojiva se řadí mezi takzvané vzdušné maltoviny, což jsou anorganická prášková pojiva, která po smíchání s vodou vytváří dobře zpracovatelnou plastickou hmotu, jež tuhne a tvrdne a je stálá pouze na vzduchu.

Sádra různých vlastností vzniká zahříváním horniny zvané sádrovec, síran vápenatý dihydrát - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, kterou je možno získat volně v přírodě nebo jako sekundární produkt průmyslové výroby.

Použití a výroba těchto pojiv je založena na schopnosti výchozích surovin uvolňovat účinkem tepla krystalicky vázanou vodu a tu po přidání opět vázat a vytvořit tak pevný výrobek.

Podle způsobu tepelného zpracování obdržíme z výchozích surovin pojiva, která se ve svých vlastnostech podstatně liší. Je to způsobeno tím, že poměry v soustavě $\text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$, přes zdánlivou jednoduchost, vyplývající z chemických rovnic, jsou mnohem složitější.

Historicky byla výroba sádry známá již ve starověku. Později se její používání přeneslo z Egypta do Řecka a do Itálie a odtud do dalších částí Evropy. K jejímu většímu využití však došlo až začátkem 19. století. Od té doby se výroba sádry v zemích s bohatými ložisky sádrovce mnohonásobila a to nejen díky jejím mnoha dobrým technickým vlastnostem, ale také proto, že se při její výrobě spotřebuje relativně málo energie. To je z ekonomického a ekologického hlediska velmi důležité. [1][2][4]

2. DRUHY SÁDROVÝCH MALTOVIN

V zahraničí i v České republice je známo mnoho druhů sádrových maltovin nejrozličnějších vlastností. V podstatě je však možno všechny zařadit do tří základních skupin.

2.1 Rychle tuhnutí sádra

Do této skupiny patří pojiva získaná ohřevem sádrovce na 105 až 180 °C, kdy vlivem těchto teplot dihydrát síranu vápenatého dehydratuje a vzniká tak produkt hemihydrát síranu vápenatého, který je považován za hlavní složku rychle tuhnutí sádry. S ohledem na teplotu a tlak vodních par ve výrobním prostředí mohou vznikat dvě různé formy hemihydrátu, které jsou označovány α a β . Tyto formy se neliší krystalovou strukturou, mají však vlivem odlišných podmínek vzniku rozdílnou morfologii, a tím i různé vlastnosti. [3]

2.1.1 α -CaSO₄·0,5H₂O

Je považován za nejjakostnější složku rychle tuhnutí sádry. Vzniká zahříváním sádrovce na 115 až 135 °C za mírného tlaku (0,12 - 0,13 MPa) v autoklávech nebo v roztoku solí při teplotách 105 až 115 °C a atmosférickém tlaku. Má měrnou hmotnost 2,72 – 2,76 g . cm⁻³. Tvoří jehličkovité až prizmatické, dobře vyvinuté, hutné krystalky. Při stejné zrnitosti má menší pórovitost než β -modifikace, což má za následek menší potřebu vody pro přípravu kaše stejné konzistence ($w=0,35$ až 0,45). Krystalky α -hemihydrátu se při rozdělání s vodou pomalu rozpouštějí. To se projevuje pomalejším tuhnutím a vznikem uspořádanější mřížky dihydrátu, která dává po zatvrdnutí výrazně vyšší pevnosti a to 40 až 60 MPa. Díky těmto skvělým pevnostním vlastnostem se sádry tvořené převážně touto formou používají jako samonivelační podlahové směsi a hlavně jako výplň v zubním lékařství.[2][4]

2.1.2 β -CaSO₄·0,5H₂O

Vzniká ohřevem sádrovce na teplotu kolem 150 °C za normálního tlaku. Voda se uvolňuje ve formě páry, což se projevuje nakypřováním („vařením“) sádry ve vařácích nebo v rotačních pecích. Tento tzv. suchý způsob výroby, při němž se voda z krystalků uvolňuje v plynné formě má za následek jejich rozrušování a částice produktu tak mají nepravidelné omezení, jsou polydisperzní a trpí silnými poruchami krystalické mřížky. Sádry obsahující vyšší množství této formy pak mají horší kvalitu. Jejich pevnosti dosahují pouze 2 až 10 MPa. β -sádra neboli stavební sádra je buď bílá nebo šedá, což je ovlivněno obsahem jílu

v surovině. Používá se v modelářství, elektrikářství, na štukové omítky a k výrobě sádrokartonových desek a příčkových tvarovek.

Společně s oběma formami hemihydrátů tvoří rychle tuhnoucí sádro i malý podíl rozpustného anhydritu III, který je směsí forem α -CaSO₄ III a β -CaSO₄ III. Po smíchání s vodou nastane stejně jako u hemihydrátů exotermická reakce, avšak vývin tepla u rozpustných anhydritů je mnohem rychlejší. Začíná se projevovat ihned po smíchání sádry s vodou na rozdíl od půlhydrátů, u kterých dosahuje maximální teploty po 20 až 100 minutách. Rozpustný CaSO₄ III tvoří xenomorfní zrna, má vodní součinitel vyšší nebo roven 1, rychleji tuhne a dává velmi malé pevnosti. Z uvedených vlastností vyplývá, že tato fáze rychle tuhnoucí sádry je nežádoucí. Za normálních podmínek je však anhydrit III nestálý a účinkem vzdušné vlhkosti přechází zpět na odpovídající hemihydráty. Čerstvě vyrobená sádra se proto nechává odležet v tzv. uzrávacích silech. Zároveň se také dbá na to, aby nežádoucí složky při výrobě vzniklo co nejméně. [1][2][4]

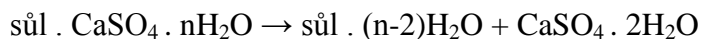
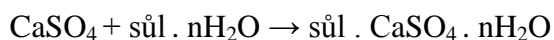
2.2 Anhydritové maltoviny

Zahříváním sádrovce v intervalu 300 – 600 °C vzniká CaSO₄ II – nerozpustný anhydrit, který je krystalograficky shodný s přírodním anhydritem. Uvádí se měrná hmotnost 2,9 až 3,1 g . cm⁻³ a tvrdost 2,9 až 3,5 dle Mohse. Jak přírodní, tak i průmyslově vyráběný anhydrit II reaguje s vodou tak pomalu, že prakticky nenastává tuhnutí. Nedá se tak samostatně použít jako pojivo bez přidání látek, které jeho hydrataci umožní, tzv. budičů. Výroba anhydritové maltoviny tedy probíhá rozemletím přírodního nebo vypáleného nerozpustného anhydritu a některého z budičů. Ty jsou buď vnitřní, přidávané před výpalem sádrovce, nebo vnější, pomleté společně s přírodním nebo vypáleným anhydritem II. [1][2]

Rozdělení budičů :

a) *Alkalické* – Např. vápno, cement, pálený dolomit, které po smíchání s vodou uvolní kation Ca²⁺ a procesem neutralizace pomáhají vzniku dihydrátu.

b) *Síranové* – Jako např. K_2SO_4 , Na_2SO_4 , $ZnSO_4$, $FeSO_4$, které s anhydritem vytvářejí lehce rozpustné intermediální soli, které se později s vodou rozkládají za tvorby dihydrátu podle schématu:



c) *Směsné* – Které vzniknou smícháním několika budičů síranových nebo zásaditých, jako je např. směs $ZnSO_4$ a K_2SO_4 nebo portlandského cementu a Na_2SO_4 . Tyto budiče jsou nejúčinnější. [1]

Vlastnosti takto vyrobené maltoviny jsou značně ovlivněny velikostí vodního součinitele, kdy s jeho nárůstem klesají pevnosti. Ty mohou dosahovat hodnot 15 až 25 MPa. Je zajímavé, že při tvrdnutí anhydritové maltoviny zhydratuje jen asi 50% anhydritu. Tím se vysvětluje, proč je možno k anhydritovým maltovinám přidávat jen malé množství plniv bez znatelného poklesu pevností. Zbývá polovina anhydritu je totiž sama jemnou výplní. Je třeba také pamatovat na to, že tuto maltovinu nelze smíchávat s vápnem ani cementem, protože by vlivem síranového rozpínání mohlo dojít k úplnému rozrušení výrobku. Používá se jako malta na zdění a omítání, ale zejména jako samonivelační podlahový potěr, avšak pouze v suchém prostředí. [1][2]

2.3 Pomalu tuhnoucí sádra

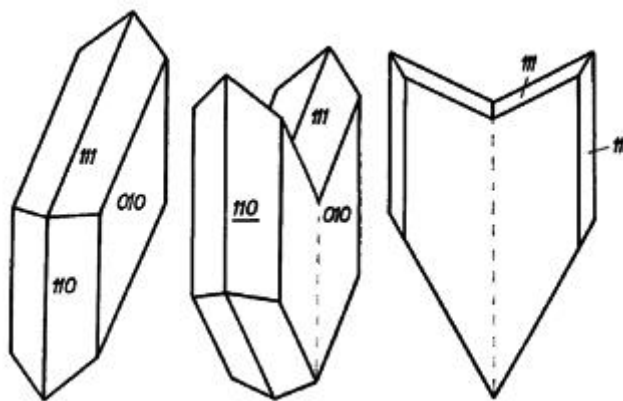
Pomalu tuhnoucí sádra, označovaná též jako sádra pálená při vysokých teplotách, potěrová či zednická, je tvořena jemně mletým anhydritem I, $CaSO_4$ I. Ten se získává pálením sádrovce na teploty v intervalu od 800 do 1000 °C v šachtových nebo rotačních pecích. Při výpalu dochází ke vzniku volného CaO v množství 2 až 4%, který působí jako vnitřní budič, a nemusíme proto hydrataci dále katalyzovat. Vlastnosti pomalu tuhnoucí sádry jsou podobné anhydritové maltovině, při tuhnutí a tvrdnutí nedochází k zvětšování objemu, ale naopak k nepatrnému smrštění. Pevnosti v tlaku dosahují nejčastěji hodnot 15 a nejvýše 30 MPa, měrná hmotnost je 2,9 až 3,0 g · cm⁻³, vodní součinitel 0,25-0,35. Tuhnutí nastává po dvou až pěti hodinách a končí za šest až osm hodin. Používá se pro výrobu bezespárých podlah a podlahových vrstev. Výroba je však kvůli vysokým teplotám výpalu neekonomická, takže se od ní záměrně upouští. [1][3][4]

3. SUROVINY PRO VÝROBU

Hlavní surovinou pro výrobu síranových pojiv je sádrovec, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ neboli dihydrát síranu vápenatého. Ten se nachází volně v přírodě, v ČR jsou však ložiska jakostního sádrovce velmi ojedinělá. Dnes probíhá těžba pouze v Kobeřicích na Opavsku, kam zasahuje výběžek Polské pánve. Mocnosti vrstev jsou však slabé a více či méně znečištěné jílem. Z toho důvodu je v ČR i v ostatních zemích s malými přírodními zásobami zaměřena pozornost na možnost výroby sádrových pojiv z odpadních surovin průmyslové výroby. Na tento způsob, při kterém dochází ke zpracování odpadních hmot, se však zaměřují i země s dostatečnými přírodními zdroji, protože je to možnost velmi ekologická.[1]

3.1 Přírodní sádrovec

Přírodní sádrovec je průhledný, bezbarvý, bílý nebo i jinak zbarvený minerál, krystalizující v soustavě monoklinické. Krystalky se vyskytují v mnoha tvarech, z nichž nejčastější jsou lupenité, jemnozrnné, tabulkové, jehličkové až prizmatické nebo čočkovité. Velmi často dochází ke zdvojení krystalů – tzv. vlaštovčí ocasy. Ušlechtilou podobou je např. alabastr, který je velmi jemně zrnitý a čistě bílý, selenit, má až vláknité krystalky a hedvábný nádech, mariánské sklo, jenž tvoří mocné čiré krystaly nebo saharská růže, vytvářející shluky krystalů připomínající květ růže. Sádrovec má měrnou hmotnost $2,32 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, tvrdost 1,5 až 2 dle Mohsovy stupnice a dobrou štěpnost. Ve vodě se rozpouští jen málo, při 18°C je to asi 0,20%, při 40°C asi 0,21% a při 100°C asi 0,17% hmotnosti. [1][4]



Obr. 1: Jednoduchý a zdvojený krystal sádrovce(vlaštovčí ocasy)



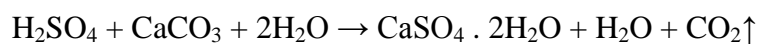
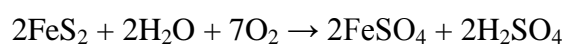
Obr. 2: Saharská růže



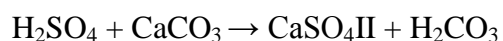
Obr. 3: Alabastr

V přírodě se sádrovec vyskytuje v ložiskách, která se dle geneze dělí na primární a sekundární. Primární ložiska vznikla evaporací vody z uzavřených moří a slaných jezer. Tím jak se voda odpařovala se postupně zvyšovala koncentrace solí až došlo k přesycení roztoků. Postupně docházelo k jejich vylučování a usazování. Nejnižší se v primárních ložiscích nachází síran vápenatý, který se jako nejméně rozpustný vylučoval nejdříve. Nad ním se nachází rozpustnější alkalické sírany, zejména sloučeniny draselné a sodné a svrchní vrstva je tvořena chloridy, které jsou rozpustné nejvíce. [1][4]

Sekundární vznik se vysvětluje rozkladem pyritu za přítomnosti vody, vzduchu a vápence. Tyto reakce probíhaly podle rovnic přibližně takto:



Při nedostatku vody může být doprovázen vznikem anhydritu II dle rovnice:



Některá ložiska jsou velmi čistá, jiná jsou do různého stupně znečištěna anhydritem, dolomitem, vápencem, slíny, jíly, bitumeny apod.[1]

3.1.1 Naleziště

Jak už bylo řečeno, množství přírodních zdrojů kvalitního sádrovce je v ČR nedostatek. Jedinou lokalitou, tvořenou výběžkem Polské pánve, kde probíhá těžba je na Opavsku. Od první poloviny 19. století do roku 1963 se těžilo z ložiska na okraji Opavy, které bylo poté zaplaveno a těžba se přesunula do Kobeřic. Toto ložisko se rozkládá na ploše cca. 140 ha, mocnosti 35m, přičemž těžba probíhá na stávajících 60 ha od roku 1965. Nadloží je z 60% tvořeno makrokrytalickým sádrovcem a zbytek jsou jíly. Horní etáž obsahuje 85-90% sádrovce a sférolity jílu. Spodní šedé lavice jsou z 50% makro i mikrokrytalické sádrovce a zbytek šedé jíly.

Dále se ložiska nacházejí na Slovensku u Spišské Nové Vsi, zde se sádrovec vyskytuje společně s anhydritem, což značně zhoršuje jak vlastnosti sádrovce, tak anhydritu.

Největší naleziště sádrovce má Polsko, Německo, Rakousko, Francie, Řecko, Rusko, USA či Japonsko.[1][4][5]

3.2 Syntetický sádrovec

Podnětem pro získávání sádrovce ze sekundárních zdrojů průmyslové výroby je jednak omezené množství přírodních zdrojů, nicméně důležitým důvodem je také otázka ekonomiky a ekologie. Je totiž logické zbavovat se suroviny odpadající při průmyslové výrobě jejím prodejem, na rozdíl od jejího skladování. Největší množství těchto druhotných produktů výroby poskytuje chemický a energetický průmysl, kde při čištění odpadních vod a kouřových plynů vzniká tzv. chemosádrovec a energosádrovec. Tato možnost je také šetrná k životnímu prostředí, protože nedochází k vyčerpávání přírodních zdrojů a zasahování do rázu krajiny.[9]

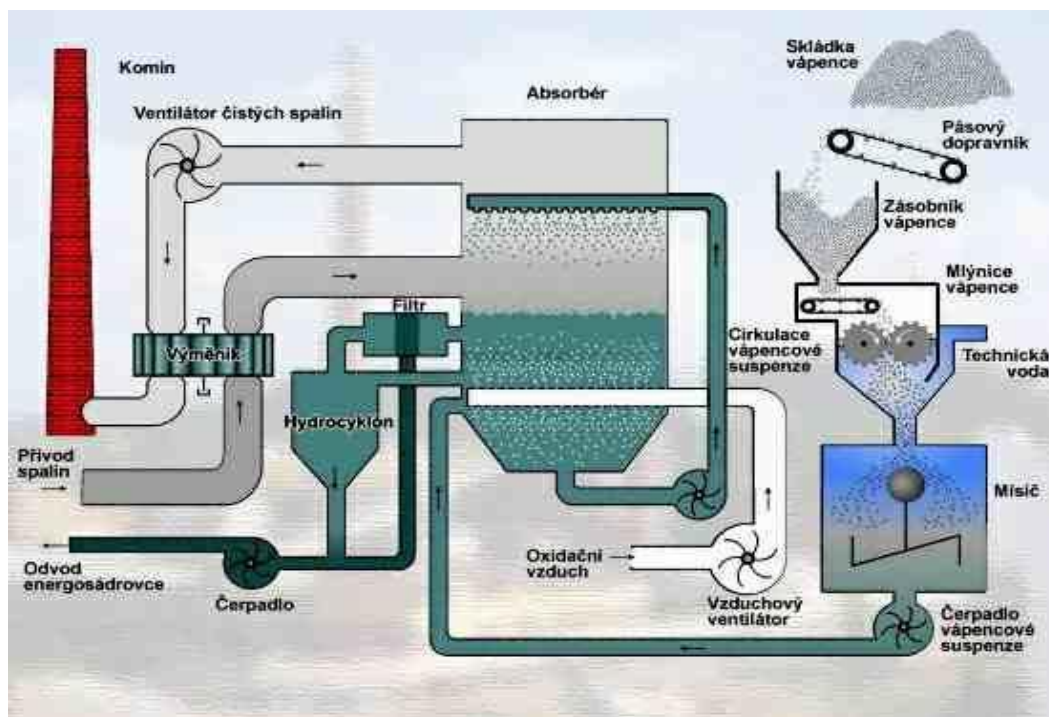
3.2.1 Energosádrovec

Jelikož v druhé polovině dvacátého století značně stoupalo využívání fosilních paliv za účelem výroby elektrické energie, docházelo tak i k obrovskému uvolňování oxidu uhličitého a siřičitého do atmosféry. To mělo za následek zhoršení kvality ovzduší, tvorbu kyselých dešťů a sílení skleníkového efektu, což dále vedlo ke snaze odstranit dopad tohoto spalování a

vývoji metod odsiřování kouřových plynů, vznikajících při spalování uhlí a topných olejů z ropy. Nejprve se prosazovala metoda rozptýlení emisí stavěním vysokých komínů, ta se ale ukázala jako neefektivní a vedla pouze ke zhoršení situace, která začala přerůstat do globálních rozměrů. V 70. letech se pak začíná uplatňovat systém desulfatace kouřových plynů pomocí vodní suspenze vápence nebo páleného vápna. Produktem tohoto procesu je síran vápenatý nazývaný energosádrovec.

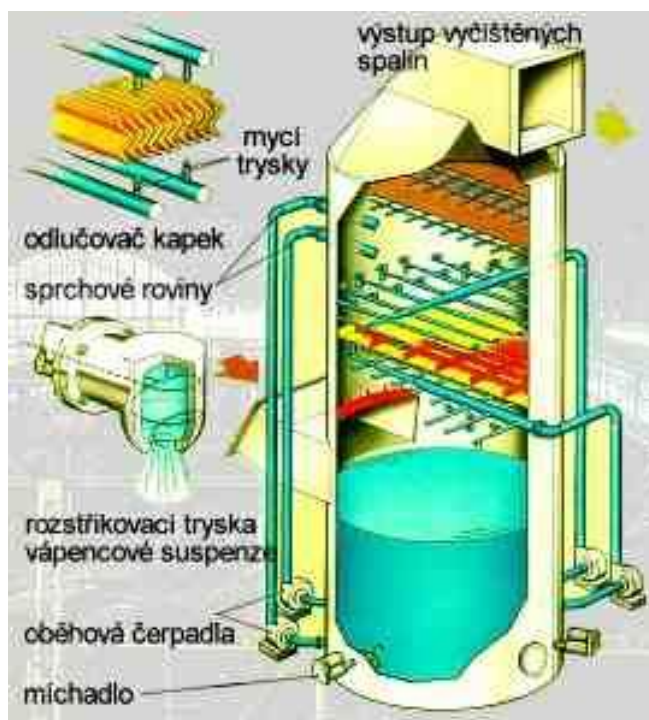
Dnes probíhá jednak vysokoteplotní spalování, při teplotách 1400 – 1600 °C, a dále fluidní spalování, za teploty 850 °C. Podle druhu spalování se volí metoda desulfatace, které se dělí dle způsobu zachycení SO₂ na :

- a) *mokrou desulfataci* – (vysokoteplotní spalování) SO₂ je zachycen v kapalině nebo vodní suspenzi aktivní látky,
- b) *polosuchou desulfataci* – aktivní látka je vstřikována ve formě vodní suspenze do proudu horkých spalin, kde se kapalina odpaří a produkt reakce je zachycen v tuhém stavu,
- c) *suchou desulfataci* – (fluidní spalování) SO₂ reaguje s aktivní látkou v suchém stavu.[6][7]



Obr. 4: Schéma průběhu mokré desulfatace

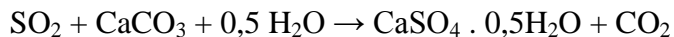
Klasické či vysokoteplotní spalování je charakteristické mokrou desulfatací. Horké spaliny se nejprve v elektrostatickém odlučovači zbaví tuhých látek – popílku a s počáteční teplotou 180 °C vstupují do rekuperačního výměníku, kde se ochladí na cca 140 °C. S touto dávkou tepelné energie pokračují do absorbéru, ve kterém probíhá samotná desulfatace. Absorbér je svisle orientovaná nádoba válcového tvaru o průměru 15m a výšce 30 - 40 m. V horní části jsou 3 – 4 sprchové roviny tvořené sítí potrubí opatřenou tryskami rozprašující vápencovou suspenzi. Ta obsahuje velmi čistý vápenec (98%), pomletý na velikost zrna $d=0,09\text{mm}$, který se před použitím smíchá s vodou, aby vytvořil suspenzi s 25% obsahem CaCO_3 . Vyčištěné spaliny o teplotě 60 °C putují z absorbéru zpět do rekuperačního výměníku, kde chladí horké spaliny a samy se znovu ohřejí na teplotu 95 °C, aby mohly být vedené do komína. Ve spodní části se hromadí vzniklá suspenze, do které je vháněn oxidační vzduch potřebný na konečnou krystalizaci sádrovce. Součástí absorbéru je i indikátor složení, hodnota pH ukazuje zda ve směsi již není obsaženo vápno. V opačném případě je kal znovu zavedený do zařízení až dokud nevznikne sádrovec. [7]



Obr. 5: Schéma absorbéru

Chemické reakce probíhající při desulfataci :

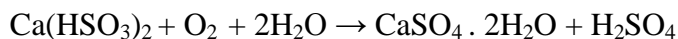
1) Vznik nerozpustného hemihydrátu siřičitanu vápenatého (pH = 7 – 8)



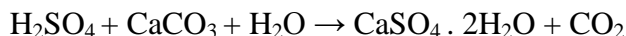
2) Přejchod siřičitanu vápenatého na rozpustný hydrogensiřičitan vápenatý (pH < 5)



3) Oxidace vzdušným kyslíkem a vznik dyhydrátu síranu vápenatého (pH = 5)



4) Reakce produkované kyseliny sírové s uhličitanem vápenatým za vzniku dalšího podílu dihydrátu síranu vápenatého



Takto vzniklý sádrovec má velmi dobré vlastnosti, je charakteristický mocnými kompaktními krystaly, je chemicky čistý (98%), ale bývá zbarven humnovými kyselinami do okrova. Z absorberu odchází energosádrovec jako řidká suspenze, musí být tedy zbaven přebytné vody. K tomu dochází v kalolisu či centrifuze, kde je upraven na konečných 10% vlhkosti. Dále už může být distribuován k zákazníkovi nebo se dále upravuje na sádru. Účinnost dnešních odsiřovacích zařízení je asi 95% a ročně se vyrobí cca 700 tisíc tun energosádrovce. [4][7]

3.2.2 Chemosádrovec

Chemosádrovec vzniká jako vedlejší produkt reakcí chemické, potravinářské nebo i sklářské výroby a při odsiřování odpadních vod. Většinou se jedná o suroviny s obsahem sádrovce nad 90%. Hrozí však nebezpečí, že látky používané při výrobě, obsažené v těchto

sádrovcích, mohou negativně ovlivnit jejich vlastnosti. Některé nežádoucí vlastnosti se však dají eliminovat a tak je možné i tyto sekundární produkty zužítkovat.[9]

3.2.2.1 Titano-sádrovec

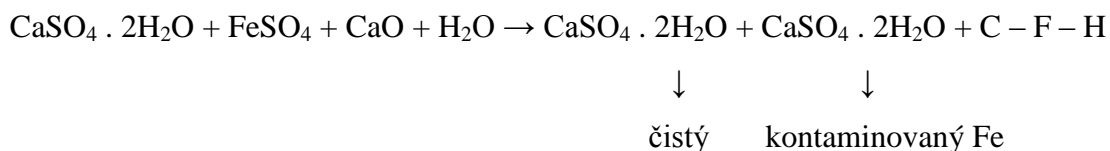
Vzniká při čištění sírano-železnatých vod, které jsou odpadním produktem při výrobě titanové běloby z ilmenitu. Tou se u nás zabývá společnost PRECHEZA sídlící v Přerově. Odsiřování vod probíhá ve dvou stupních :

I. Stupeň – míchání znečištěných vod s vápencovou suspenzí



Tento sádrovec však obsahuje reziduum železa a síranu železnatého neboli zelené skalice, které způsobuje zelené či červené zbarvení a znemožňuje tak jeho použití pro výrobu sádry. Nedá se využít ani jako regulátor tuhnutí betonu, jelikož způsobuje silnou retardaci. Proto se zavedl druhý stupeň čištění.

II. Stupeň – nežádoucí železo se váže pomocí vzdušného vápna



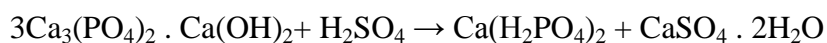
Takto získaný sádrovec má 98% čistotu a bílou barvu, je proto vhodný jak k výrobě sádry tak k úpravě cementu. [7]

3.2.2.2 Fosfosádrovec

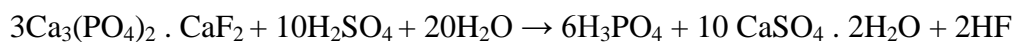
Fosfosádrovec je považován za nejběžnější druh chemosádrovce. Vzniká při výrobě kyseliny fosforečné a fosfátových hnojiv extrakčním procesem, známým od roku 1880, založeným na rozkladě přírodních fosforečnanů, fosforitu a apatitu, kyselinou sírovou.

Reakce probíhá za teploty 90 – 110 °C podle rovnic:

- z fosforitu:



- z apatitu:

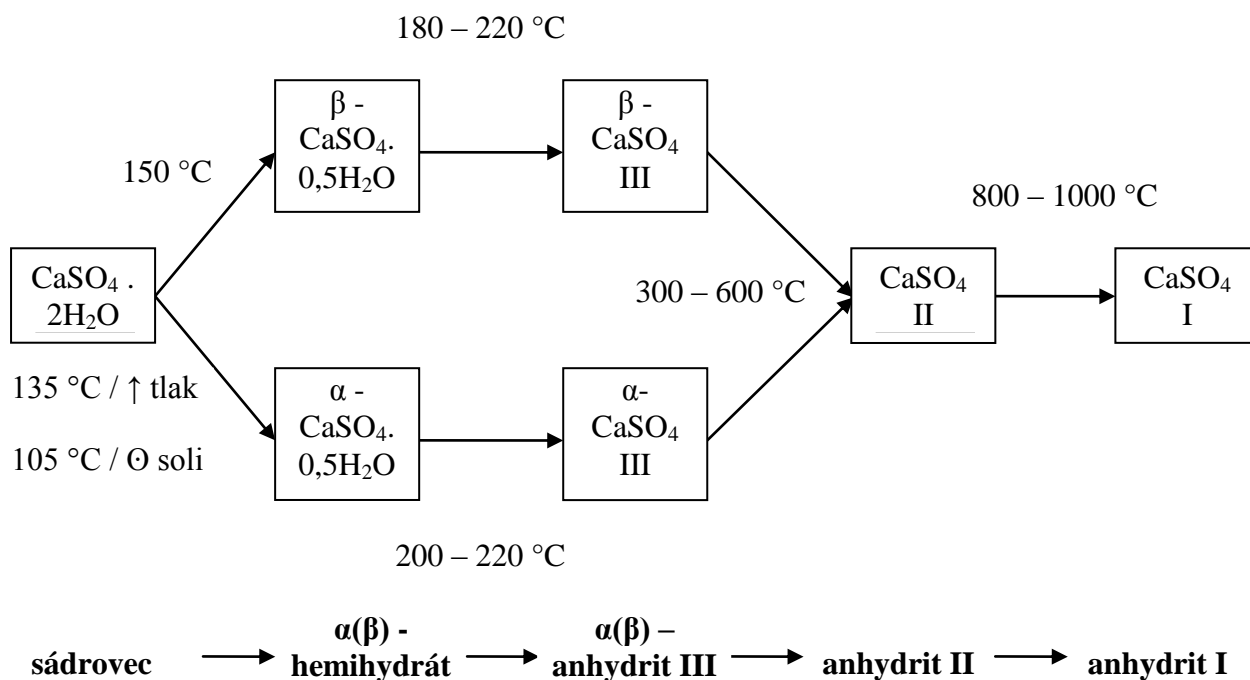


Tento syntetický sádrovec je čistý a kvalitní, avšak i malý podíl znečišťujících látek jako fosfor a fluor značně ovlivní jeho vlastnosti. Producentem fosfosádrovce byla společnost Fosfa Poštorná, zabývající se výrobou fosfátových hnojiv. Dnes už společnost tento sádrovec neprodukuje, ale stále disponuje lagunami obsahujícími cca 800 tisíc tun zásob.

Dalšími druhy chemosádrovců jsou např. sádrovce pocházející z výroby organických kyselin (citro-sádrovec, boro-sádrovec) a dále z výroby kyseliny fluorovodíkové (fluoro-sádrovec). Je důležité u nich dbát na obsah nečistot, které mohou různým nežádoucím způsobem ovlivňovat jejich vlastnosti. [7][9]

4. TEORETICKÉ PODKLADY VÝROBY

V závislosti na teplotě výpalu sádrovce vznikají různé druhy síranových pojiv, které se liší mírou dehydratace a hlavně fyzikálně-mechanickými vlastnostmi. Jednoduše je možné znázornit teplotní modifikace síranu vápenatého následujícím schématem:[4]



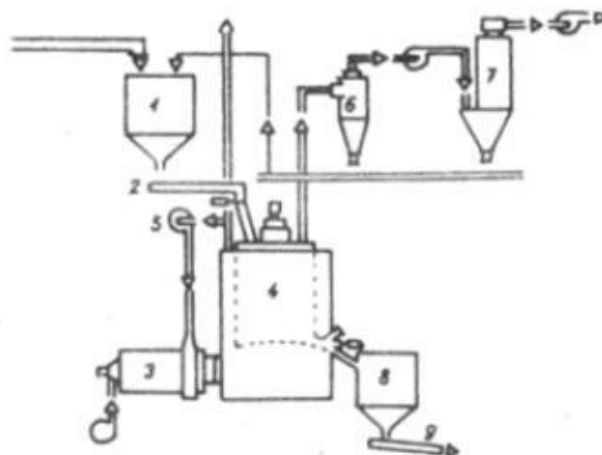
5. TECHNOLOGIE VÝROBY SÁDROVÝCH POJIV

Sádro je možno vyrábět několika technologickými postupy. Konkrétní výrobní postup a zařízení se volí podle toho, jaké budou požadavky na vyrobenou maltovinu a jaké suroviny jsou k dispozici. Před výpalem suroviny je zpravidla natěžená hornina podrcena a uložena v zásobnících. Ke kalcinaci (dehydrataci) sádrovce může docházet např. v:

- **sušících rotačních mlýnech**, v nichž se surovina mele a současně kalcinuje procházejícím teplým vzduchem (používá se zejména pro výrobu rychle tuhnoucího β - hemihydrátu),
- **rotačních pecích** s přímým nebo nepřímým zahříváním, vytápěných plynem nebo olejem,
- **šachtových pecích** při teplotách 800 až 1000 °C (tento způsob slouží k výrobě pomalu tuhnoucí sádry),
- tzv. **vařácích** teplota suroviny dosahuje 130 – 150 °C (jedná se o starší, periodický způsob výroby),
- **autoklávech**, které pracují s přetlakem při teplotě okolo 120 °C (jde o ekonomicky velmi nákladný postup, který ale produkuje nejkvalitnější α - sádro). [10]

5.1 Výroba β – sádry

Jak už bylo výše zmíněno, jednou z možností výroby rychle tuhnoucí sádry je zahřívání suroviny v tzv. vařácích, kovových kotlích o objemu 5 – 15 m³. Je to jeden s nejstarších způsobů, jehož nevýhodou je periodický postup, na druhou stranu velkou předností je, že ve spodní části vařáku, vlivem přítlaku horních vrstev náplně, vzniká sádra s vysokým obsahem jakostní složky α -CaSO₄·0,5H₂O. Princip zařízení je takový, že z topeniště ve spodní části proudí systémem potrubí horké plyny, které nepřímo zahřívají surovinu. V kotli opatřeném míchadlem je za přívodu tepla míchán pomletý sádrovec a unikající pára nakypřuje („vaří“) vznikající sádro. Teplota by neměla překročit 170 °C, protože by pak docházelo k tvorbě nežádoucího anhydritu III. Tento způsob výroby se dnes už nepoužívá.[4][1]

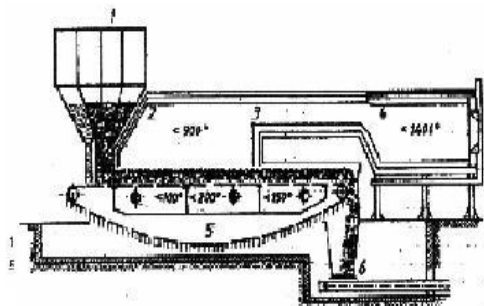


Obr. 6: Schéma vařáku Büttner-Schilde-Haas

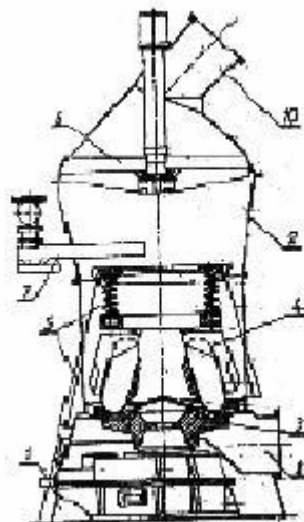
(1 - zásobník sádrovce, 2 - odměřovací zařízení, 3 - generátor topných plynů, 4 - vařák, 5 - ventilátor, 6 a 7 - odlučovač prachu, 8 - zásobník sádry, 9 - odběr sádry)

Nejběžnější způsob výroby je v rotačkových sušárnách, tzv. kalcinátorech, což jsou zařízení válcového tvaru o průměru 2,4 – 2,6m a délce 10 – 25m. Pohyb suroviny uvnitř bubnu je umožněn jeho otáčením kolem své osy rychlostí 1 – 4 otáčky za minutu a sklonem 3 – 4%. Tělesem kalcinátoru prochází horké plyny proudící ze spalovací komory, vstupující na stejné straně jako sádrovec, jejichž teplota je maximálně 600 °C. Rotačka je opatřena textilními filtry, které zabraňují odnášení jemných podílů proudícím vzduchem. Proto nesmí být při výstupu překročena teplota 130 °C. Jelikož se používá velké množství sádrovců syntetických, charakteristických svou vysokou vlhkostí a ne všechny kalcinátory jsou dostatečně dlouhé, aby se při jejich průchodu sádrovec zbavil přebytečné vody, nechává surovina projít rotačkou dvakrát. Při prvním průchodu se vysuší, poté jsou pneumaticky dopraveny zpět na začátek a při dalším průchodu dochází ke kalcinaci. Touto metodou je sádra vyráběna v Kobeřicích, kde zpracovávají energosádrovec, chemosádrovec z firmy Precheza i přírodní sádrovec. Dále je rotačkový kalcinátor délky 25m používán v Počeradech a také v Lomničce u Tišnova.[7][8]

Dalším výrobním zařízením jsou sušící rotační mlýny Claudius – Peters, ve kterých dochází současně k mletí suroviny a kalcinaci proudícím vzduchem o vysokých teplotách nebo rošt A.N. Knaufa kde docházelo k třídění suroviny a následnému výpalu každé frakce zvlášť. Spaliny proudící přes rošt odcházeli sacími kanály, takže proces nebyl tak prašný.[7][8]



Obr. 7: Rošt A.N. Knaufa



Obr. 8: Sušící mlýn Claudius-Peters

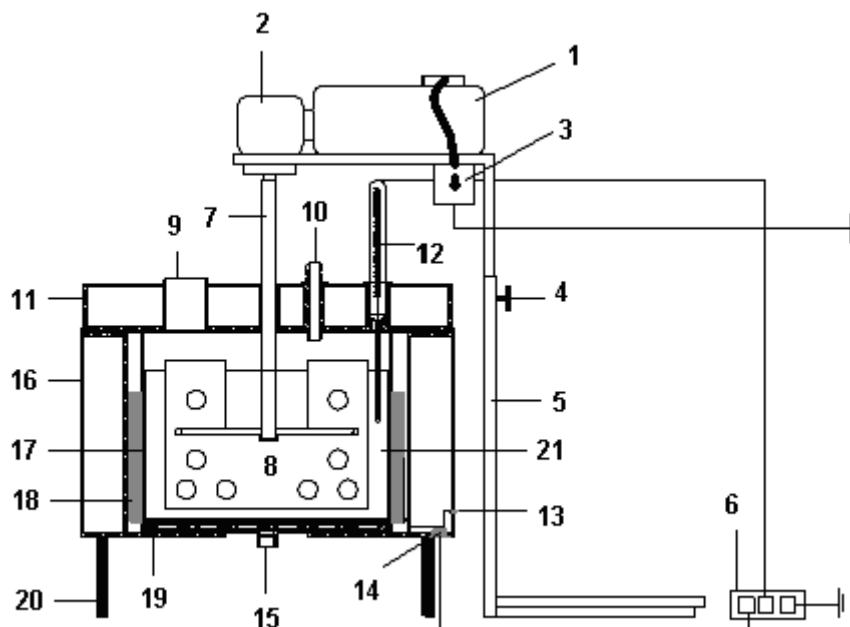
5.2 Výroba α – sádry

Tuto modifikaci lze získávat dvěma způsoby. Jednak za vyšší teploty a tlaku anebo v roztoku solí při nižších teplotách.

Prvním z nich je hydrotermální výroba v autoklávu, což je buď horizontálně nebo vertikálně orientovaná nerezová nádoba válcového tvaru, která je schopná udržet podmínky nutné k vzniku hemihydrátu ve formě α . Těmi jsou teplota 135 °C, zvýšený tlak, asi 0,12 – 0,13 MPa a hydrotermální prostředí, zajištěné ostrou vodní parou přiváděnou dovnitř nádoby perforovanou trubicí. Díky zvýšenému tlaku uniká voda ze sádrovce v kapalném skupenství a nedochází tak k poškození struktury krystalků. Tomu se dále napomáhá používáním tzv. mineralizátorů, schopných vytvořit na povrchu zrna film o nižší rozpustnosti než má sádrovec, zabráňující rozštěpení krystalů. Používají se zejména slabé organické kyseliny jako např. kyselina citronová a vinná, nejvíce se však osvědčila kyselina jantarová. Samotná výroba probíhá ve dvou krocích. Prvním je dehydratace ostrou parou při 135 °C po dobu 3-5 hodin. Dalším pak sušení suchou parou při otevřeném víku autoklávu. V této etapě je důležité dbát na to, aby teplota neklesla pod 98 °C, což je bod ekvivalence, při kterém hemihydrát začíná přecházet zpět na dihydrát. [7][8]

Druhou možností jak vyrábět α -hemihydrát je beztlaková dehydratace v roztoku solí (např. CaCl_2), které posouvají bod varu na teplotu 104 až 106 °C a voda tak může odcházet z krystalků jako kapalina. K tomuto způsobu se využívá zařízení zvané dehydrátor. Je to

dvouplášťová nádoba s míchadlem sloužícím k udržení sádrovce ve vznosu. Nádoba je naplněna sádrovcovou suspenzí, která je ohřívána pomocí topné spirály umístěné v plášti. Nakonec se sádra musí promýt vroucí vodou, aby se zbavila solí. Po odsátí vody se přímo v dehydrátoru sádra i suší při teplotě nad 98 °C. [7][8]

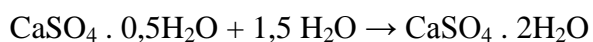


Obr. 9: Schéma dehydrátoru

(1 – elektromotor, 7 – hnací hřídel, 8 – míchadlo, 9 – otvor pro odběr vzorku, 10 – přívod vroucí vody, 11 – víko, 12 – teploměr, 15 – vývěva, 16 – venkovní plášť, 18 – topné těleso, 19 – filtrační dno)

6. HYDRATACE SÁDRY

Po rozdělení sádry s vodou a jejím rozpuštění jako metastabilního produktu nastává hydratace (tuhnutí a tvrdnutí) vykrystalizováním stabilního produktu – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dle Le Chateliera (1887). Tuto reakci lze vyjádřit rovnicí:



Při tomto procesu dochází k uvolňování tepla, jedná se tedy o děj exotermický. Hodnota

$Q = -17,17$ až $-19,26$ kJ. Vždy přítomné množství anhydritu se také zhydratuje:



Důležitou roli hraje rozpustnost, která závisí na teplotě. U hemihydrátů je větší (885 mg na 100 g vody) než u dihydrátů (204 mg na 100 g vody). Dle Le Chatelierovy teorie utvoří polohdrát v suspenzi nasycený roztok, který je však přesycený vzhledem k dihydrátu, jenž z něj začne vylučovat. Krystaly dihydrátu postupně rostou a vzájemně srůstají a prorůstají, než vytvoří mikrostrukturu zatvrdlé sádry jako nositele fyzikálních a chemických vlastností zatvrdlého produktu. Vlastní mechanismus reakce je složitý a vykládá se různými teoriemi (Bajkov – koloidně – chemická, Rabinděr - fyzikálně – mechanická, Krönert – krystalochemická, u nás Šatlava). Z hlediska tvorby mikrostruktury lze rozlišit tyto periody :

1. *perioda(indukční)* – Sádrová suspenze jen nepatrně mění svou viskozitu. Dochází v ní vlivem přesycení roztoku k tvorbě krystalizačních zárodků dihydrátu, které se mohou vyskytovat volně i na zrnech hemihydrátu. Čím více je roztok přesycený, tím rychleji se zárodky vytvářejí. Rychlost tuhnutí a tvrdnutí je v této periodě velmi malá, vlivem malého povrchu zárodků a je určena rychlostí jejich tvorby.

2. *perioda(hlavní)* – Je charakterizována hydratací hemihydrátu a růstem krystalů dihydrátu. Viskozita stoupá exponenciálně s časem. Energie uvolňovaná při růstu je vždy větší než při tvorbě zárodků, které proto mohou vznikat jen na počátku krystalizačního pochodu, přibližně do začátku tuhnutí. V místech s kritickým počtem zárodků vznikají agregáty obsahující vodu, kterou postupně ztrácejí, a tak vytváří krystalky s vyvinutými plochami. Při růstu krystalů se vytváří mikrostruktura a molekulární vazby a směs přechází v tuhou látku.

3. *perioda(rekrystalizační)* – Řídícím dějem je rozpouštění, resp. difuzní transport vody dovnitř zrn, způsobující opětovnou krystalizaci menších krystalků. Reakce končí jakmile krystaly dosáhnou určité velikosti, což je velmi pomalý proces, který lze urychlit zvýšením teploty.

Zvýšení pevnosti zatvrdlé sádry lze dosáhnout jejím vysušením. Odpařením vody vznikají z vodného, mezi krystaly uloženého síranového roztoku další krystaly sádrovce , které zesilují již existující spojení. Mimoto po odpaření vody nedochází tak snadno k vzájemnému posunu krystalů.[2]

6.1 Přísady ovlivňující tuhnutí dle Ratinova

Pro zabezpečení dobrých pevností výrobků ze síranových pojiv se musí sádrová kaše zpracovat před začátkem jejího tuhnutí. Proto se přidávají k sádře , buď již při jejím mletí nebo až při přípravě kaše, regulátory tuhnutí. S přihlédnutím k uvedené krystalizační teorii tvrdnutí sádry lze tyto přípravky rozdělit podle mechanismu jejich působení do těchto skupin:

- **Elektrolyty a neelektrolyty**, které mění rozpustnost, ale nevytváří na povrchu částic špatně rozpustné filmy. Některé přísady, jako např. etylalkohol nebo hydroxid amonný tuhnutí zpomalují, jiné urychlují , těmi jsou např. chlorid draselný, síran sodný. Chlorid sodný podle koncentrace buď zpomaluje nebo urychluje tuhnutí.

- **Látky tvořící krystalizační zárodky**, např. sádrovec, působící jako urychlovač.

- **Látky povrchově aktivní**, které jsou schopny adsorpce na půlhydrátu i hemihydrátu a brání vstupu vlhkosti do zrna, čím zpomalují tuhnutí. Jsou to organické sloučeniny, jako např. klíh, deriváty celulózy, keratin, dextrin.

- **Látky tvořící nerozpustný film na povrchu sádrových zrn**, které zabraňují krystalizaci a tím zpomalují tuhnutí. Jsou to organické kyseliny , jako např. kyselina vinná, citronová, fosforečná, boritá.

- **Přípravky směsné**, které jsou tvořeny směsí některých z předchozích látek. [4]

7. VLASTNOSTI SÁDRY

Pro praktické použití sádry je rozhodující nejen pevnost, ale i odolnost proti vlhkosti, schopnost zvukově a tepelně izolovat, chování při různých teplotách a vztah k použité výztuži.

7.1 Pevnost a přetváření

Mezi přírodním sádrovcem a sádrovcem vzniklým ve vyrobeném produktu existují přes stejné chemické složení značné rozdíly (viz tabulka 1), které jsou dány jejich rozdílnou mikrostrukturou. Přilnavost malt ze sádry nebo anhydritu k běžným stavebním látkám je dobrá. Rovněž je příznivý poměr mezi pevnostmi v tlaku a v ohybu (cca 3:1). Modul pružnosti je $E = 2000 - 6000 \text{ MPa}$, dotvarování $\phi = 5,4 - 6,2\%$. Mechanické vlastnosti zhydratované sádry velmi závisí na její vlhkosti. Vysušené výrobky mají 2 až 3krát větší pevnosti. Kolísání vlhkosti o pouhé 0,1% hmotnosti může způsobit změnu pevnosti až o 8%. [2]

Tab. 1: Rozdíly mezi přírodním sádrovcem a zatvrdlým produktem

Název	Chemické složení	Objemová hmotnost $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	Pevnost v tlaku $[\text{MPa}]$
přírodní sádrovec	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2300	40 až 45
sádrovec vzniklý hydratací sádry	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	500 až 1500	1 až 35
přírodní anhydrit	CaSO_4	2600	100 až 150
zhydratovaný anhydrit	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4$	1900	20 až 30

7.2 Vlhkost

Nejsnadněji může být z výrobku odstraněna voda mechanicky vázaná, která vystupuje jako kapilární vlhkost neboli pórová voda a vlhkost adsorbovaná na povrchu výrobku ve formě filmu. V první fázi sušení se voda odstraňuje relativně rychle podle teploty a rychlosti proudícího vzduchu. V druhé fázi, po dosažení zbytkové vlhkosti přibližně 5%, se proces sušení značně zpomaluje, jelikož vlhkost musí proniknout difuzí jemnou kapilární soustavou zevnitř výrobku na povrch. Zatvrdlá sádra je hygroskopická a přijímá vodu z okolí. Tato vlhkost má negativní vliv na pevnosti výrobků, proto průměrná relativní vlhkost prostředí, ve kterém jsou použity, nesmí překročit 75%. Vlivem makropórů mají sádrové výrobky výbornou sací schopnost, takže při zvýšení vlhkosti dojde k jejímu pohlcení. Stejně ochotně je však voda z výrobku uvolněna při opětovném snížení vlhkosti. Tato vlastnost příznivě ovlivňuje pohodu bydlení, jelikož vytváří příjemné klima. [2,4]

7.3 Tepelné technické vlastnosti

Měrná tepelná kapacita suchých sádrových výrobků činí při rovnovážné vlhkosti 840 až 1050 J . kg⁻¹ . K⁻¹. Tepelná vodivost má při obvyklých objemových hmotnostech (600 – 1200 kg . m⁻³) hodnotu 0,25 až 0,55 W . m⁻¹ . K⁻¹. Z hlediska požární ochrany patří tyto výrobky k protipožárním látkám. Při teplotě nad 110 °C se sádrový výrobek odvodňuje a ztrácí pevnost, vytěsněná voda však vytváří na povrchu výrobku vrstvu páry, a tím ho chrání před ohněm. Sádrové výrobky jsou považovány za mrazuvzdorné, jestliže alespoň 20% objemu z celkového objemu pórů není vyplněno vodou.[2]

7.4 Výztuž

Sádrové pojiva mají pH<7, nejsou tedy schopny vytvářet alkalické prostředí nutné pro pasivaci ocelové výztuže a vlhkost, která vlivem velké pórovitosti k výztuži proniká, způsobuje korozi. Je proto nutné chránit výztuž použitou v sádrových výrobcích nanášením nátěrů na bázi polvinylchloridu, dehtoepoxidovou pryskyřicí nebo pozinkováním. Hliník, zinek, olovo a měď se považují u sádrových dílců za stálé.[2]

7.5 Normy týkající se sádrových pojiv

K zařazení u nás existují dvě normy, podle kterých má sádra splňovat určité podmínky. Jednak je to česká norma ČSN 72 2301 Sádrová pojiva – Klasifikace – Všeobecné technické požadavky – Zkušební metody, která popisuje všechny síranová pojiva. Další je české znění evropské normy ČSN EN 13279 Sádrová pojiva a sádrové malty pro vnitřní omítky – Část 1: Definice a požadavky a Část 2: Zkušební metody. Dle těchto norem má každá třída splňovat dané fyzikální vlastnosti.[11][12]

Tab. 2: Třídy sádrových pojiv dle pevnosti v tlaku - ČSN 72 2301

Třída pojiva	Pevnost v tlaku [Mpa]	Třída pojiva	Pevnost v tlaku [Mpa]	Třída pojiva	Pevnost v tlaku [Mpa]
G - 2	2	G - 6	6	G - 16	16
G - 3	3	G - 7	7	G - 19	19
G - 4	4	G - 10	10	G - 22	22
G - 5	5	G - 13	13	G - 25	25

Dle počátku a doby tuhnutí se sádrové pojiva řadí do 3 tříd [11]:

A – rychle tuhnoucí – počátek > 2 minuty – doba > 15 minut

B – normálně tuhnoucí – počátek > 6 minut – doba > 30 minut

C – pomalu tuhnoucí – počátek > 20 minut – doba neurčená

Dle jemnosti mletí, kde kritériem je zbytek na síti 0,2 mm, se řadí také do tří tříd [11]:

I – hrubozrnná – zbytek na síti < 30%

II – střednězrnná – zbytek na síti < 15%

III – jemnozrnná – zbytek na síti < 2%

8. POUŽITÍ SÁDROVÝCH POJIV

Vzhledem ke svým dobrým technickým vlastnostem nachází sádrová pojiva v současné době široké uplatnění hlavně ve stavebnictví, ale také v jiných průmyslových odvětvích. V České republice je nerozšířenější použití β -sádry, která se dá aplikovat k výrobě mnoha produktů, dále pak anhydritové maltoviny zejména k výrobě samonivelačních směsí, méně časté je použití α -sádry.[4]

8.1 Výrobky na bázi α -sádry

Díky způsobu výroby získává α -sádra výborné pevnostní vlastnosti, vzhledem k náročnosti je však její produkce také nákladnější, proto nachází menší uplatnění. V Německu slouží k výrobě samonivelačních směsí jako tzv. Estrich sádra. Ta je směsí α -sádry, anhydritové maltoviny, kameniva a aditiv sloužících ke zpomalení tuhnutí, zvýšení přídržnosti k podkladu a odpěňujících přísad. Dále se používá pro dentistické účely jako zubařská sádra pod názvem Begostone. Je jemně rozemletá a upravuje se přidáním zpomalovače a ztekucovače.[4]

8.2 Použití anhydritových maltovin

Jak už bylo výše uvedené, použití anhydritových maltovin spočívá především ve výrobě samonivelačních podlahových potěrů, které mají výhodu v rychlosti a kvalitě pokládky a jsou

průchozí již po 24 hodinách. Díky malým objemovým změnám jsou vhodné pro aplikaci podlahových topení.[4]

8.3 Použití β -sádry

Jelikož je k výrobě β -sádry zapotřebí oproti jiným maltovinám relativně nízkých teplot a jednoduchých zařízení, stává se tak méně nákladnější, a tedy ekonomičtější, ale i ekologičtější. Její používání je proto velmi rozšířené a bylo vynalezeno mnoho aplikací. Používá se pro výrobu maltových a omítkových směsí, sádrokartonových konstrukcí, sádrovláknitých konstrukcí a v neposlední řadě k výrobě sádrových příčkových tvárnic, kterým bude věnována samostatná kapitola.[4]

8.3.1 Maltové a omítkové směsi

Maltou se sádrová suspenze stává až po přidání plniva, např. písku. Běžná sádrová malta je tvořena dvěma díly kameniva a jedním dílem sádrového pojiva. Její vlastnosti se zlepšují přidáváním různých přísad. Používají se aditiva zlepšující přidrženost k podkladu, zpomalovače tuhnutí (Retardant – kyselina vinná) a látky zvyšující vodní retenci (étery).[4][2]

8.3.2 Sádrokartonové desky

Sádrokarton je velmi přizpůsobivý materiál, který má obrovské možnosti využití. Využívá se především při stavbě příček, podhledů, předsazených stěn, šachtových stěn, instalačních příček, suchých omítek nebo jako lehká sádrokartonová plovoucí podlaha. Svou oblibu si získal díky možnosti rychlé a snadné instalace. Mezi další výhody sádrokartonu patří lehkost, pevnost, životnost, přizpůsobivost, snadné zpracování. Základní suroviny k výrobě sádrokartonu, které představuje sádra a papír, fungují jako tepelná a zvuková izolace. Kvalitu určuje použitý pevnostní karton. Dalším důvodem proč je sádrokarton tak oblíbený je i jeho cena. Voděodolný sádrokarton se získá přidáním hydrofobizátorů (sterany, silikony). Protipožární odolnost sádrokartonu je 30 minut, když je použit speciální nátěr zvyšuje se požární odolnost až na 60 minut. Výroba probíhá následujícím způsobem. Sádra se přivádí ze zásobníku do suchého šnekového míchače. Pak se v další míchače, kam se přidávají také přísady jako urychlovače tuhnutí, hydrofobizátory a jiné, smíchá s vodou a připraví se sádrová

kaše. Ta se nalévá mezi spodní a horní kartonový papír odvíjený z cívek. Pomocí lisovacích válců, působících tlakem 1 MPa, se deska zpevní a vytvaruje. Stříhací zařízení pak rozdělí pás na požadované rozměry a nakonec se v tunelové sušárně vysuší na 0,5 až 1,5% vlhkosti. [13]

8.3.3 Sádroláknité desky

Jsou to výrobky obdobného charakteru jako sádrokartonové desky. Rozdíl je hlavně ve výrobním procesu. Recyklovaný papír je rozemletý a smíchaný se sádrou v míchačce, poté je kladen na výrobní pás, kde se zvlhčuje vodou. Následně je lisován, rozřezán, vysušen a naimpregnován. Desky mají větší pevnost, protipožární odolnost a mohou být použity ve vlhkém prostředí. [14]

9. SÁDROVÉ PŘÍČKOVÉ TVAROVKY

Jedná se o plošné zdící prvky, jelikož převládá délkový a výškový rozměr nad tloušťkou. Tyto sádrové desky s hladkými lícovými plochami, vyráběné litím sádrové kaše, slouží k tvorbě nenosných příčkových systémů a vynikají oproti tradičním technologiím zdění řadou předností. [5]

9.1 Stav výroby v České republice a v zahraničí

Výroba stavebních dílců ze sádry probíhá v zahraničí již dlouhou dobu. Nejdříve se jí začali věnovat v Německu, Polsku a Rakousku, odkud se výroba podobnými technologiemi rozšířila do dalších zemí s bohatými ložisky, jako je např. Francie, Belgie, Čína, Indie a další. Za nejmodernější v Evropě se dnes považuje německo-polská společnost VG – ORTH POLSKA, produkující sádrové desky pod názvem MULTIGIPS o rozměrech 666 x 500 x 60 až 100 mm, dále pak rakouská společnost DONAU Chemie AG vyrábějící produkt pod názvem DONAU GIPS téměř stejných rozměrů.

V České republice z již dříve uvedených surovinových důvodů není výroba rozšířená. Dříve probíhala výroba sádrových desek pod obchodním označením Promonta ve Slezských cementárnách a sádrovcových dolech n. p. v Ostravě. Dnes je jediným českým výrobcem firma GYPSTREND, s.r.o. sídlící v Kobeřicích, která vyvinula vlastní technologii pro výrobu

přesných sádrových příčekovek označovaných firemním názvem SUPERBLOK® (rozměry 450 x 300 x 80 mm). [15][16][17]

9.2 Surovina a výrobní proces

Pro výrobu je použita bílá β -sádra z již předem zmiňovaných ekonomických důvodů a výroba zpravidla probíhá následujícím způsobem. Sádra je ze zásobníku přiváděna šnekovým dopravníkem do sklopné automatické váhy, kde se přesně odváží množství sádry potřebné pro odlev. Poté je vysypána do míchačky s daným množstvím vody. Po promíchání se kaše nalévá do komorového lisu, kde je podle konstrukce možné vyrábět různé množství desek. Po částečném zatuhnutí se přebytek kaše na horní ploše lisu odřezává. Odstraněný zbytek je možné ihned přidávat do míchačky, kde se připravuje kaše pro další odlev. Po zatvrdnutí se desky z lisu hydraulicky vytlačují a ukládají na vozíky, kterými jsou dopraveny do sušárny. Nakonec jsou výrobky baleny a poté buď distribuovány nebo uskladněny v prostorách, kde jsou chráněny před vlhkostí. [1]

9.3 Výhody použití

Tento systém poskytuje mnoho výhod, vycházejících z použitého materiálu a způsobu výroby [15][16][17]:

- tvarová přesnost a rozměrová stálost
- snadná opracovatelnost (řezáním, vrtáním, frézováním)
- suché zdění
- rychlá a snadná montáž na pero a drážku s použitím sádrového pojiva
- možnost snadného zabudování veškerých instalací
- povrchová úprava stěny přímo na připravené zdivo, bez omítání
- požární odolnost
- akustická izolace
- odolnost proti vlhkosti při použití hydrofobizátorů
- zdravé mikroklima interiéru
- příznivá cena

9.4 Technické údaje

Technické parametry jsou přesně stanoveny v českém znění evropské normy ČSN EN 12859 Sádrové tvárnice – Definice, požadavky a zkušební metody, která je podrobněji popsána v následující kapitole.

9.5 Požadavky na sádrové tvárnice dle ČSN EN 12859

Normou ustanovující technické parametry sádrových příčkových tvárnice, jejich zařazení a zkoušení je ČSN EN 12859 Sádrové tvárnice – Definice, požadavky a zkušební metody. V experimentální části jsme se řídili touto normou při navrhování formy udávající rozměry tvarovky a při provádění základních zkoušek, proto zde budou tyto body zevrubně popsány.

9.5.1 Chování při požáru

- Reakce na oheň

Sádrové tvárnice jsou zařazeny do Evropské třídy A 1 (nepřispívají k ohni) bez zkoušení , pokud obsahují méně než 1% hmotnosti nebo objemu (podle toho co je větší) organického materiálu. Obsahují-li více než 1% hmotnosti nebo objemu organického materiálu, musí být posouzeny a zařazeny dle EN 13501-1. [18]

- Požární odolnost

Vlastnost vztažena na smontovaný systém a ne na jednotlivé prvky. Pokud je předmětem požadavků, stanoví se a klasifikuje podle EN 13501-2. [18]

9.5.2 Vzduchová neprůzvučnost

Vlastnost která je vztažena na smontovaný systém a ne na jeho jednotlivé prvky. Pokud je předmětem požadavků, stanoví se zkušebními metodami uvedenými EN ISO 10140-3 a EN ISO 717-1. [18]

9.5.3 Tepelné vlastnosti

- Tepelný odpor

Předpokládá-li se použití sádrových tvárnic pro zlepšení tepelného odporu stavebních konstrukcí, vypočítá se tepelný odpor podle vzorce v EN ISO 6946:2007. [18]

- Tepelná vodivost

Hodnoty tepelné vodivosti zatvrdlé sádrové hmoty použité pro výrobu sádrových tvárnic jsou uvedeny v tabulce 4. Tyto hodnoty jsou převzaty z EN ISO 10456:2007 a týkají se vysušeného materiálu při vnitřním použití. [18]

Tab. 3: Hodnoty tepelné vodivosti zatvrdlé sádry dle EN ISO 10456:2007

$\rho[\text{kg/m}^3]$	$\lambda_{23-50}[\text{W}/(\text{m.K})]$
600	0,18
700	0,22
800	0,26
900	0,30
1000	0,34
1100	0,39
1200	0,43
1300	0,47
1400	0,51
1500	0,56

9.5.4 Druhy sádrových tvárnic

- Všeobecně

Sádrové tvárnice se vyrábějí ve dvou pevnostních třídách A a R.

Sádrové tvárnice se vyrábějí ve třech druzích podle objemové hmotnosti – nízká (L), střední (M) a vysoká (D).

Sádrové tvárnice se vyrábějí ve třech třídách podle nasákavosti H1, H2 a H3. [18]

- Barevné rozlišení

Barevné rozlišení podle objemové hmotnosti (pouze u třídy nasákavosti H3) [18]:

Třída objemové hmotnosti D (vysoká) – Barva růžová.

Třída objemové hmotnosti M (střední) – Barva přírodní.

Třída objemové hmotnosti L (nízká) – Barva žlutá.

Barevné rozlišení podle tříd nasákavosti [18]:

Třída nasákavosti H3 – Barva přírodní.

Třída nasákavosti H2 – Barva modrá.

Třída nasákavosti H1 – Barva zelená.

9.5.5 Rozměry

Rozměr sádrové tvárnice je dán její tloušťkou, délkou a výškou. Tloušťka musí být nejméně 50 mm a nesmí být větší než 150 mm. Délka nesmí být větší než 1000 mm.

Výška musí být stanovena v souladu délkou tak, aby plocha tvárnice byla nejméně $0,10 \text{ m}^2$.

Pro dutinové tvárnice platí, že musí obsahovat v celé tvárnici minimálně 15 mm tlustou vrstvu bez dutin. Celkový objem dutin nesmí přesáhnout 40% z celého objemu tvárnice.

Tolerance rozměrů je pro tloušťku: $\pm 0,5 \text{ mm}$, pro délku: $\pm 5 \text{ mm}$, pro výšku $\pm 2 \text{ mm}$. [18]

9.5.6 Rovinnost sádrových tvárnic

Rovinnost je dána měřením uvedeným ve zkušebních metodách a nesmí mít odchylku větší než 1 mm. [18]

9.5.7 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost zatvrdlé hmoty sádrové tvárnice ve vysušeném stavu se dělí do tří tříd [18]:

- vysoká objemová hmotnost (D) – $1100 \leq \rho \leq 1500 \text{ kg/m}^3$
- střední objemová hmotnost (M) – $800 \leq \rho \leq 1100 \text{ kg/m}^3$
- nízká objemová hmotnost (L) – $600 \leq \rho \leq 800 \text{ kg/m}^3$

9.5.8 Nasákavost

Třídy sádrových tvárnic podle nasákavosti [18]:

- Třída H3: nasákavost není požadována
- Třída H2: nasákavost $\leq 5\%$
- Třída H1: nasákavost $\leq 2,5\%$

9.5.9 Obsah vlhkosti

Průměrný obsah vlhkosti nesmí překročit 8% hmotnosti. [18]

9.5.10 Pevnost v tahu za ohybu

Sádrové tvárnice třídy A – běžné užití musí odolat zatížením uvedeným tabulce 5. [18]

Tab. 4: Lomové zatížení sádrových tvárníc třídy A dle ČSN EN 12859

Sádrové tvárnice delší nebo rovny 650 mm s výškou 500mm	Minimální průměrné hodnoty lomového zatížení [kN]
Plná sádrová tvárnice (střední objemová hmotnost)	
Tloušťka [mm]	
50	1,7
60	1,9
70	2,3
80	2,7
100	4
Tvárnice s dutinami s nízkou objemovou hmotností	1,7
Pro sádrové tvárnice kratší než 650 mm a/nebo s výškou rozdílnou 500 mm, hodnoty v druhém sloupečku musí být opraveny v poměru délek a/nebo výšek	

Sádrové tvárnice třídy R – zvýšené pevnosti musí odolat zatížením uvedeným v tabulce 6. [18]

Tab. 6: Lomové zatížení sádrových tvárníc třídy R dle ČSN EN 12859

Sádrové tvárnice delší nebo rovny 650 mm s výškou 500mm	Minimální průměrné hodnoty lomového zatížení [kN]
Plná sádrová tvárnice a tvárnice s dutinami(střední nebo vysoká objemová hmotnost)	
Tloušťka [mm]	
50	2,0
60	2,2
70	3,0
80	3,0
100	5,0
Pro sádrové tvárnice kratší než 650 mm a/nebo s výškou rozdílnou 500 mm, hodnoty v druhém sloupečku musí být opraveny v poměru délek a/nebo výšek	

9.5.11 pH

Povrchové pH každé sádrové tvárnice musí být uvnitř těchto intervalů [18]:

- tvárnice se standardním pH: $6,5 \leq \text{pH} \leq 10,5$
- tvárnice s nízkým pH: $4,5 \leq \text{pH} \leq 6,5$

9.6 Zkušební metody vybraných základních zkoušek dle ČSN EN 12859

9.6.1 Měření rozměrů

- Tloušťka

Posuvným měřítkem, s přesností měření 0,1 mm, se měří vzdálenost mezi dvěma lícovými plochami tvarovky. Tloušťka musí být změřena ve středu každé strany přibližně 50 mm od svislých krajů lícových ploch. Výsledná hodnota je dána aritmetickým průměrem z naměřených hodnot. [18]

- Délka

Kovovým pravítkem nebo kovovou páskou s milimetrovou stupnicí, s přesností měření 1 mm, se měří delší rozměr lícové plochy. Délka se měří rovnoběžně s vodorovnými okraji tvárnice a to podél okrajů její lícové plochy a ve středu tvárnice bez ohledu na drážky a pera. Výsledná hodnota je dána aritmetickým průměrem naměřených hodnot. [18]

- Výška

Kovovým pravítkem nebo kovovou páskou s milimetrovou stupnicí, s přesností měření 1 mm, se měří kratší rozměr lícové plochy. Měření a vyjádření výsledků probíhá analogicky jako u měření délky. [18]

9.6.2 Rovinnost

Tvárnice se umístí na rovný povrch a měří se maximální vzdálenost mezi lícovými plochami tvárnice a rovným povrchem. Zapotřebí je kovové pravítko, které se položí úhlopříčně na povrch tvárnice a do mezery mezi kovovým pravítkem a povrchem tvárnice se vloží spároměr. Poté se tvárnice otočí a měření se opakuje na druhé straně. Výsledkem je průměr z naměřených hodnot odchylek od roviny vyjádřeným v milimetrech. [18]

9.6.3 Objemová hmotnost

Zkušební těleso se vysuší v sušárně do ustálené hmotnosti při teplotě $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$, potom se ochladí v uzavřené nádobě a zváží se s přesností 0,1% vztaženou na vážené množství. Poté se změří rozměry a výpočtem podílu hmotnosti ku objemu se stanoví objemová hmotnost. [18]

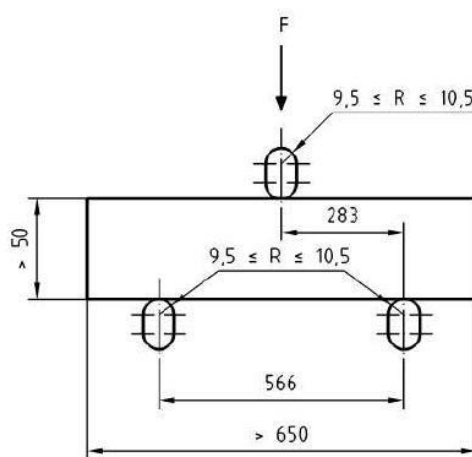
9.6.4 Pevnost v tahu za ohybu

Podstata zkoušky:

Pevnost v tahu za ohybu se stanoví ze zatížení v tahu za ohybu měřeného na sádrových tvárnících s použitím zatěžování jedním břemenem uprostřed. [18]

Zkušební zařízení:

Zkušební stroj musí být vybaven přípravkem pro zkoušení v tahu za ohybu, sestávajícím ze dvou válcových podpor (jedna podpora je pevně upevněná, druhá podpora musí mít možnost se poněkud vychýlit tak, aby zatížení bylo přeneseno na šířku zkušebního tělesa), které jsou umístěny na spodní části stroje, a zatěžovacího válce. Vertikální roviny, proložené osami válců, musí být rovnoběžné a během zkoušky zůstat rovnoběžné, stejně vzdálené a kolmé k ose upnutého zkušebního tělesa. Vzdálenost mezi podporami může být upravena podle délky sádrové tvárnice. Pro tělesa délky 650 mm a větší je vzdálenost podpor 566 mm, je-li délka tvárnice menší, pak musí být podpory umístěny 50 mm od okraje tvárnice. Zařízení musí umožnit rychlost zatěžování v rozsahu 20 N/s. [18]



Obr. 10: Zkušební zařízení na stanovení pevnosti v tahu za ohybu rozměry v milimetrech

Zkušební postup:

Sádrové tvárnice se zkouší jednotlivě ve vodorovné poloze. Umístí se na dvě válcové podpory a poté se zatěžují uprostřed zatěžovacím válcem. Zatížení se zrychluje rovnoměrně s rychlostí 20 N/s, dokud se sádrová tvárnice nezlomí. [18]

Vyjádření výsledků:

Pokud jsou sádrové tvárnice kratší než 650 mm, musí vzdálenost podpor odpovídat jejich délce minus 50 mm na každé straně. V takovém případě se hodnoty uvedené v tabulce 5 a tabulce 6 upraví v poměru vzdáleností mezi podporami a hodnotou 566 mm. Liší-li se výška od 500 mm, pak jsou hodnoty upraveny i v poměru výšek. Výsledná hodnota pevnosti v tahu za ohybu je dána aritmetickým průměrem z naměřených hodnot. [18]

9.6.5 pH

Vzorek o hmotnosti asi 1 g se získá seškrábáním z povrchu úlomků sádrové tvárnice do hloubky asi 1 mm. Získaný práškový vzorek se rozmíchá v 10 g demineralizované nebo destilované, převařené a ochlazené vody. Po 5 minutách se změří pH s přesností 0,5 barevným kapalným indikátorem, pH – metrem nebo pH – papírkem. Výsledná hodnota je dána aritmetickým průměrem ze tří naměřených hodnot. [18]

II EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

1. CÍL

Bakalářská práce je řešena v návaznosti na projekt Ministerstva průmyslu a obchodu, který se zabývá vývojem komplexního stavebního programu na bázi vysokohodnotného sádrového pojiva z druhotných surovin. V rámci jedné z podetap je předmětem řešení návrh výroby malých sádrových prvků, které mají představovat základní jednotku pro výstavbu sádrových interiérových příček.

V souvislosti s tím je cílem práce vývoj sádrové tvarovky jako součást komplexního příčkového systému, konkrétně se jednalo o návrh poloprovozní formy a její vlastní výroba, dále odlev sádrové tvarovky a stanovení základních technologických vlastností dle normových požadavků.

2. METODIKA PRÁCE

Práce je metodicky rozdělena do dvou etap. První etapa je zaměřena na vlastní konstrukci formy pro výrobu sádrové tvarovky. Při návrhu se postupovalo tak, aby velikost a tvar tvarovky byl v souladu s požadavky na co nejsnazší stavební aplikaci při zachování požadovaných technických vlastností. Nejprve byl proveden náčrtek formy, dále výběr vhodného materiálu a její výroba.

V rámci druhé etapy se již přistoupilo k samotnému odlevu sádrové tvarovky. Jako výplňové pojivo byla použita sádra vyrobená firmou Rosomac optimalizovaným poloprovozním způsobem, která byla modifikována ztekucující a retardační přísadou. Po odformování byla vyrobená tvarovka exponována v laboratorním prostředí a podrobena stanovení požadovaných technologických vlastností dle normy ČSN EN 12859:

- rozměry
- objemová hmotnost
- rovinnost
- pevnost v tahu za ohybu
- pH

3. POSTUP PRÁCE

3.1 První etapa

V první etapě byla věnována pozornost návrhu poloprovodní formy, výběru vhodného materiálu a rozměrů, aby byly zachovány požadavky na snadnou stavební aplikaci a dodrženy hodnoty stanovené normou ČSN EN 12859.

3.1.1 Návrh poloprovodní formy

Při návrhu formy se postupovalo v první řadě tak, aby rozměry výsledného výrobku vyhovovaly rozpětí hodnot stanových normou (maximální délka $l = 1000$ mm, tloušťka od 50 mm do 150 mm, minimální plocha lícové strany nejméně $0,10 \text{ m}^2$). Dalším rozhodujícím parametrem bylo, aby velikost a tvar výrobku byl v souladu s požadavky na co nejsnazší stavební aplikaci při zachování požadovaných technických vlastností. To znamená, že rozměry byly stanoveny tak, aby výsledná hmotnost tvarovky nebyla příliš vysoká, a tedy manipulace s ní byla co nejsnazší. Zároveň však musel zůstat formát takový, aby na jednotku plochy nemuselo být použito příliš velké množství tvárnic a práce se tím nezpomalovala. Rozměry formy byly tedy stanoveny tak, že udávají rozměry tvárnice 500×300 mm. Výška bočnice formy udává tloušťku tvarovky 60 mm. Tvar bočnic formy byl navržen tak, aby byla tvarovka opatřena perem a drážkou. Za materiál vhodný pro konstrukci formy bylo zvoleno dubové dřevo, jelikož to při kontaktu se sádrovou suspenzí na rozdíl od železa nekoroduje, výsledná forma není příliš těžká a konstrukce je z něj snadno zhotovitelná. Konstrukce formy je orientována vodorovně tak, že na podstavu jsou připevněny odnímatelné bočnice, do kterých se po okraj nalije sádrová suspenze a po jejím krátkém zatuhnutí se přebytečné množství seřízne kovovou strunou.

3.2 Druhá etapa

V rámci druhé etapy byl proveden odlev ze sádry komerčně vyráběné firmou Rosomac, která byla modifikována ztekucující a retardační přísadou, aby připravená suspenze měla

konzistenci vhodnou k nalití do formy a při míchání nezačala tuhnout. Po odformování se sádrová tvárnice připravila k provedení zkoušek dle normy ČSN EN 12859.

3.2.1 Odlev tvarovky

Nejprve se navázily jednotlivé suroviny potřebné pro výrobu tvarovky, dané předepsanou recepturou. Ty se poté smíchaly v čistém plastovém barelu, který byl uzavřen víkem a provedla se homogenizace pečlivým protřepáním, obracením a válením. Takto připravená směs byla následně smíchána s daným množstvím vody a rozmíchána míchadlem na stavební materiály opatřeným nástavcem na míchání. Tento krok byl proveden pečlivě, aby naspodu barelu nezůstala usazená nerozmíchaná surovina, ale v co nejkratším čase, aby směs nezačala tuhnout a bylo jí tak možno bez problémů odlít. Do smontované formy, připravené na vodorovném povrchu se poté suspenze nalila v množství mírně přesahujícím horní okraj. Nadzvednutím okraje formy a puštěním z několika centimetrů se odlitá směs zbavila možných vzduchových bublinek. V momentě kdy směs začala tuhnout se ocelovou strunou seřízl přebytek a forma byla přikryta skleněnou deskou. Odlitá směs se poté nechala tuhnout a tvrdnout, dokud ji nebylo možné odformovat. Po odformování byly tvárnice připraveny k provedení základních zkoušek podle normy ČSN EN 12859.

3.2.1.1 Receptura

K odlevu tvarovky byla použita předepsaná receptura, kdy bylo použito 12 kg sádry firmy Rosomac. Dále 0,3% ztekucovače Melment vztažených na hmotnost sádry a 0,5% zpomalovače vztažených na hmotnost sádry.

3.2.2 Provedení zkoušek dle normy ČSN EN 12589

Vlastnosti vyrobeného produktu byly ověřeny provedením základních zkoušek dle normy ČSN EN 12859.

3.2.2.1 Stanovení rozměrů

Tloušťka byla změřena posuvným měřítkem s přesností měření 0,1 mm, jako vzdálenost mezi dvěma lícovými plochami tvarovky. Měření bylo provedeno ve středu každé strany přibližně 50 mm od svislých krajů lícových ploch. Délka se měřila jako delší rozměr lícové plochy kovovou páskou s milimetrovou stupnicí s přesností měření na 1 mm. Délka byla měřena podél okrajů lícové plochy a ve středu tvárnice bez ohledu na drážky a pera. Výška se stanovila kovovou páskou s milimetrovou stupnicí s přesností měření 1 mm. Byl měřen kratší rozměr lícové plochy analogicky jako u měření délky. Výsledkem byly aritmetické průměry z naměřených hodnot. [18]

3.2.2.2 Rovinnost

Sádrová tvárnice byla položena na rovnou plochu a na její lícovou plochu bylo úhlopříčně přiloženo kovové pravítko. Do mezery mezi pravítkem a povrchem tvárnice se zasouval spároměr, dokud nebyla nalezena maximální hodnota odchylky od roviny. [18]

3.2.2.3 Objemová hmotnost

Zkušební těleso bylo vysušeno v sušárně do ustálené hmotnosti při teplotě $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a poté ochlazeno v uzavřené nádobě. Objemová hmotnost se stanovila jako podíl hmotnosti ku objemu, vypočteného z naměřených hodnot. [18]

3.2.2.4 Pevnost v tahu za ohybu

Tvárnice byla po vysušení umístěna do přípravku na zatěžování, schopného zatížit těleso rychlostí 20N/s. Tvárnice byla umístěna na dvě rovnoběžné podpěry válcového tvaru s vzdáleností mezi osami 400 mm tak, aby každá z nich byla vzdálená 50 mm od kratšího okraje tvárnice. Poté se začala uprostřed zatěžovat břemenem válcového tvaru, jehož osa byla orientována rovnoběžně s osami podpor. Měřeno bylo nejvyšší zatížení při porušení tvárnice v kN. [18]

3.2.2.5 pH

Měření bylo provedeno za pomoci pH papírku ponořeného do směsi 10 g destilované vody a 1 g vzorku získaného seškrábáním z povrchu úlomku sádrové tvárnice do hloubky 1 mm. pH papírek byl ponořen do rozmíchané směsi po pěti minutách. Měření bylo provedeno třikrát s přesností na 0,5. [18]

4. POUŽITÉ SUROVINY A PŘÍSTROJE

4.1 Suroviny

4.1.1 β -sádra

β - sádra neboli hemihydrát síranu vápenatého se řadí mezi rychle tuhnoucí pojiva, která se vyznačují vysokým vodním součinitelem a ne příliš vysokými pevnostmi. Pro odlev byla použita sádra vyrobená firmou Rosomac optimalizovaným poloprovozním způsobem z přerovského chemosádrovce Pregips, výrobce Precheza a.s. Přerov. Jedná se o chemický sádrovec z výroby titanové běloby vysoké čistoty, jen s nízkým množstvím doprovodných látek. Přehled základních kvalitativních znaků sádrovce uvádí tab. 7. [4]

Tab. 7: Přehled vlastností sádrovce Pregips

Sledovaná vlastnost	Deklarované hodnoty
Obsah $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ v sušině [%]	min 95
pH [-]	5-8
MgO rozpustný ve vodě [%]	max 0,1
Na_2O rozpustný ve vodě [%]	max. 0,06
Cl^- rozpustný ve vodě [%]	max. 0,01
Vlhkost [%]	max. 13

4.1.2 Plastifikátor

Pro úpravu konzistence za účelem lepší zpracovatelnosti byl použit ztekucovač označovaný firemním názvem Melment F10. Je to práškový produkt na bázi sulfonovaného polykondenzačního produktu melaminu. [19]

4.1.3 Retardant

Jelikož sádra začíná tuhnout ve velmi krátkém časovém intervalu, bylo zapotřebí použít látky, která tuto dobu prodlouží. Pro tento účel byl použit zpomalovač tuhnutí pro síranovápenná pojiva označovaný firemním názvem Retardan GK. Je to práškový produkt světle hnědé barvy na bázi polykondenzovaných aminokyselin. [20]

4.2 Přístroje

Pro provedení experimentální části práce byly využity laboratorní přístroje a pomůcky dostupné na ÚTHD FAST VUT Brno.

- laboratorní sušárny s nastavitelnou teplotou a nuceným oběhem
- laboratorní váhy s přesností 0,01g
- míchadlo pro míchání stavebních materiálů s regulací otáček
- zatěžovací lis

5. VYHODNOCENÍ

5.1 První etapa

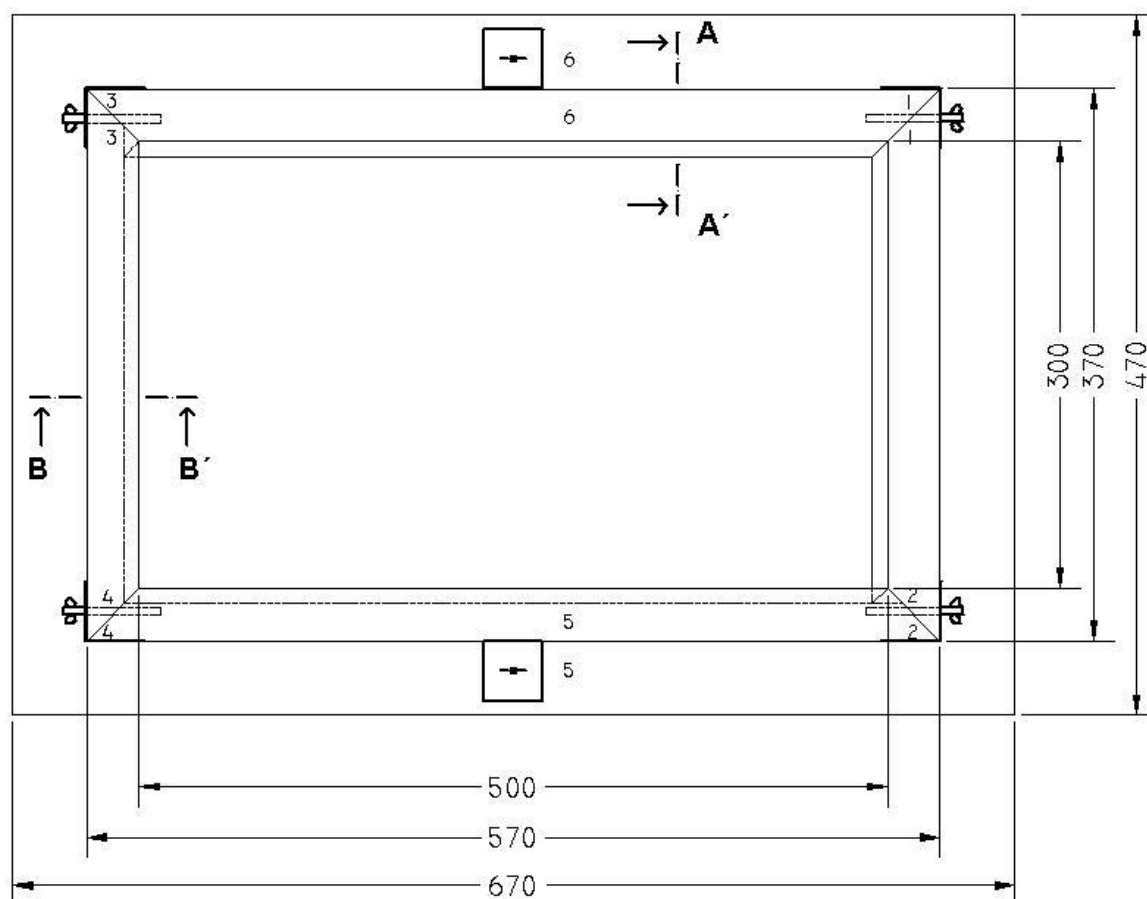
5.1.1 Konstrukce formy

Samotná konstrukce se skládá z obdélníkové dřevotřískové desky s povrchovou úpravou z HPL laminátu, která slouží jako podstava formy. Rozměry této desky jsou 670 x 470 x 40 mm. Dále ze čtyř bočnic z dubového dřeva, kdy vždy jedna delší a jedna kratší je opatřena buď perem nebo drážkou, které profilují výslednou tvárnici. Konstrukce je navržena tak, že dvě delší bočnice mají uprostřed pevně přišroubovány úhelníky, kterými se za pomoci křídlových šroubů připevní k podstavě. Dvě kratší bočnice jsou opatřeny úhelníky na svých koncích, kterými jsou za pomoci křídlových šroubů spojeny s delšími bočnicemi. Konstrukce

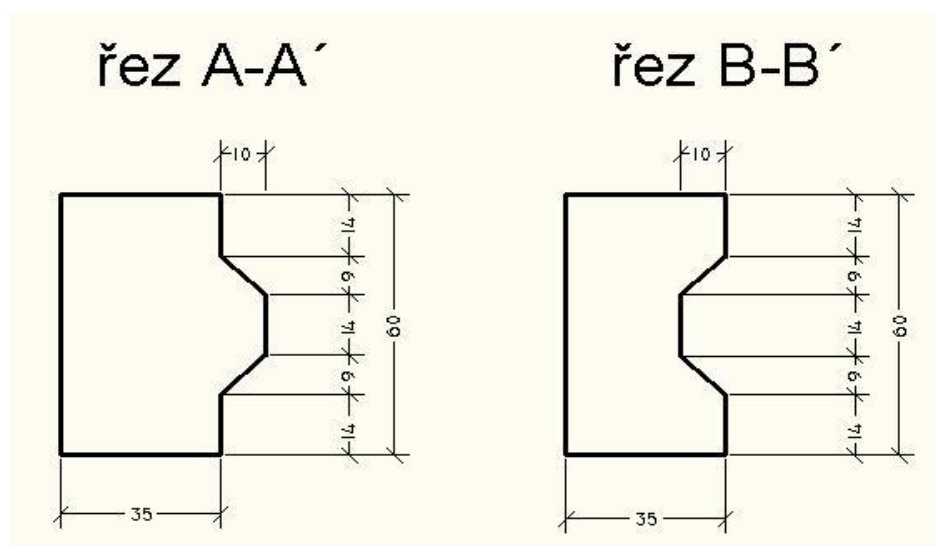
a pohled na výsledný produkt je znázorněn v nákresech na obrázcích 11 – 14. Konstrukce byla dle návrhu řešitelského týmu vyhotovena panem Jiří Šubertem.

5.1.2 Použití formy

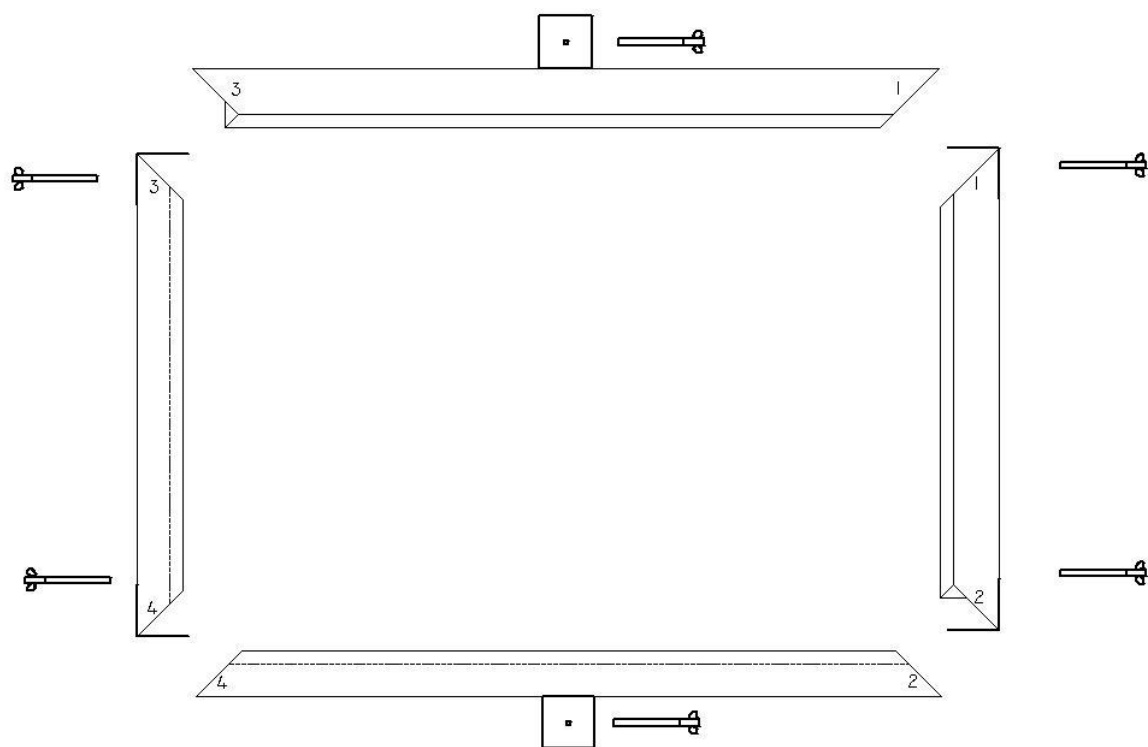
Použitelnost formy byla z hlediska funkčnosti dostačující. Forma dala výrobku požadovaný tvar, dřevo nejevilo známky poškození vlivem účinků sádry, tvarovku bylo snadné po zatuhnutí odformovat bez jejího poškození a formu očistit plastovou špachtlí a použít k dalšímu odlevu. Po více odlevech se však ukázalo, že je volba nijak neošetřeného dřevěného materiálu nevhodná, vzhledem k množství použité vody v záměsi. Ta se při opakovaném používání částečně, i když ne výrazně, vsakovala do dřevěných bočnic, které se po více nasáknutích a vysušeníh ztelně zdeformovaly. Druhou nevýhodou bylo řešení konstrukce s otevřenou horní plochou, která se po mírném přelití a částečném zatuhnutí upravovala seříznutím ocelovou strunou, po kterém zůstaly stopy na lícové ploše tvarovky. V tomto případě se nicméně jednalo také o volbu receptury, která mohla provedení ovlivnit. Na obrázku 15 je forma po několika odlevech, na které je možno v místech styků bočnic pozorovat jistou nedoléhavost. Na obrázku 16 můžeme vidět patrné stopy po seříznutí strunou na lícové ploše tvarovky.



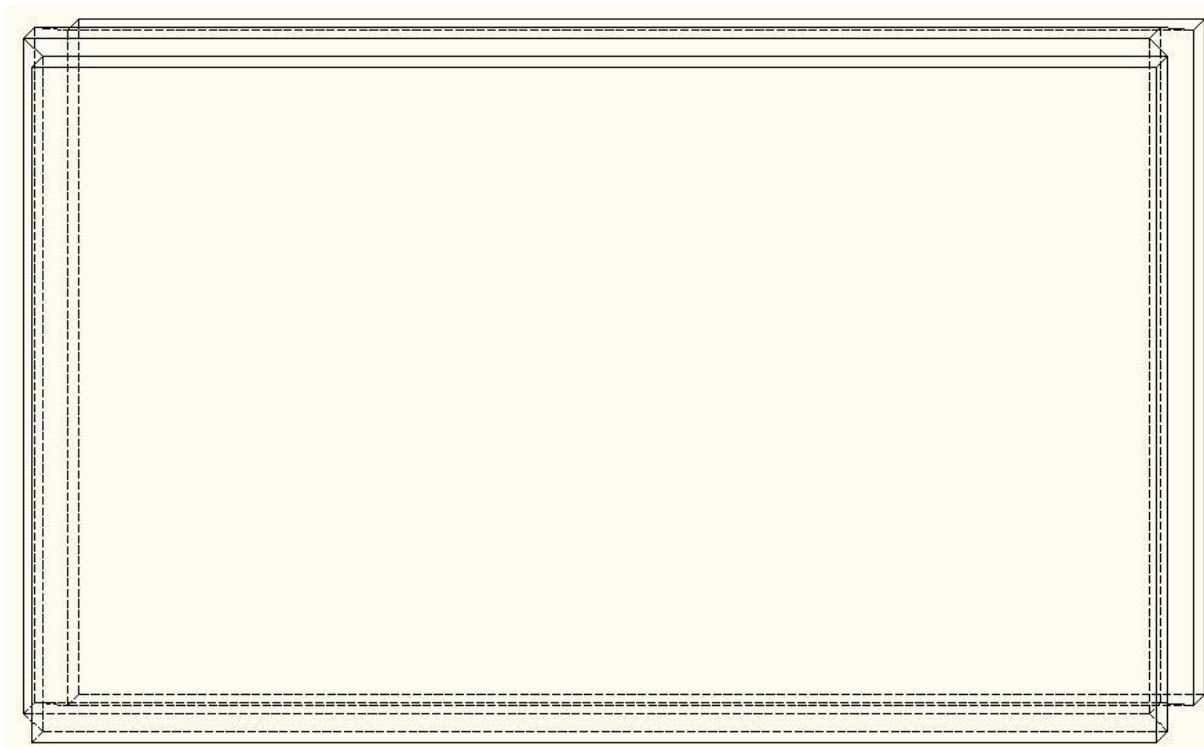
Obr. 11: Půdorysný náčrt formy s rozměry v milimetrech



Obr. 12: Řezy bočnicemi formy s rozměry v milimetrech



Obr. 13: Nesmontované bočnice formy



Obr. 14: Pohled na výslednou tvárnici



Obr. 15: Forma po několika použitích



Obr. 16: Výsledný produkt - stopy po seříznutí na lícové ploše

5.2 Druhá etapa

Zhodnocení výsledků získaných z měření a zkoušení odlité tvarovky.

5.2.1 Naměřené hodnoty

Rozměry:

Tab. 8: Vyhodnocení rozměrů

Druh měření		Referenční hodnota	Naměřená hodnota				Odchylka	Tolerance	Výsledek
			1.	2.	3.	aritmetický průměr			
Rozměry [mm]	Délka	500,0	501,0	502,0	503,0	502,0	2,0	5,0	vyhovuje
	Výška	300,0	300,0	301,0	300,0	300,3	0,3	2,0	vyhovuje
	Tloušťka	60,0	61,3	61,1	61,0	61,1	1,1	0,5	nevyhovuje

Na základě naměřených hodnot a výsledků lze konstatovat, že tvarovka splňuje rozměrové parametry s výjimkou tloušťky, kde vlivem nepřesného seříznutí byla tloušťka o něco větší než povoluje tolerance.

Rovinnost:

Tab. 9: Vyhodnocení rovinnosti

Druh měření	Odchylka[mm]		Aritmetický průměr	Tolerance [mm]	Výsledek
	Strana A	Strana B			
Rovinnost	0,1	0,4	0,3	1,0	Vyhovuje

Na základě výsledků zkoušky rovinnosti lze říci, že výrobek dodržuje požadované hodnoty.

Objemová hmotnost:

Hmotnost vysušené tvarovky: $m_s = 9,91 \text{ kg}$

Výpočet objemu tvarovky: $V = a \times b \times c = 0,5020 \times 0,3003 \times 0,0611 = 0,00921 \text{ m}^3$

Výpočet objemové hmotnosti: $\rho = m / V = 9,91 / 0,00921 = 1080 \text{ kg.m}^{-3}$

Třídy sádrových tvarovek podle objemové hmotnosti dle normy ČSN EN 12859:

- vysoká objemová hmotnost (D) – $1100 \leq \rho \leq 1500 \text{ kg/m}^3$
- střední objemová hmotnost (M) – $800 \leq \rho \leq 1100 \text{ kg/m}^3$
- nízká objemová hmotnost (L) – $600 \leq \rho \leq 800 \text{ kg/m}^3$

Výsledek: Tvarovka se podle normy ČSN EN 12859 řadí do třídy M – střední objemová hmotnost.

Pevnost v tahu za ohybu:

Naměřená hodnota lomového zatížení: $F = 2,8 \text{ kN}$

Minimální hodnota lomového zatížení pro sádrovou tvarovku třídy A – běžné užití o rozměrech 650 x 500 x 60 mm a střední objemové hmotnosti je podle hodnot uvedených v tabulkách normy ČSN EN 12859 $F_{\min} = 1,9 \text{ kN}$. Tato hodnota se však musí přepočítat v poměru délky a výšky, pokud jsou rozměry zkoušené tvarovky odlišné od rozměrů uvedených v normě.

Přepočet minimálního lomového zatížení F_{\min} :

V případě přepočtu v poměru délek je použita nepřímá úměra, jelikož čím kratší je rozpon podpor, tím větší je zapotřebí síla k porušení tělesa o stejném průřezu.

V poměru délky $\rightarrow 650 / 500 = 1,3 \times F_{\min}$

V případě přepočtu v poměru výšek je použita přímá úměra, jelikož při zmenšení rozměru namáhaného průřezu dojde ke zmenšení síly potřebné k porušení tělesa.

V poměru výšky $\rightarrow 300 / 500 = 0,6 \times F_{\min}$

Výsledná přepočtená hodnota minimálního lomového zatížení:

$$F_{\min,p} = 1,3 \times 0,6 \times 1,9 = 1,5 \text{ kN}$$

Vyhodnocení: Experimentálně vyrobená sádrová příčková tvarovka vyhovuje naměřenou hodnotou lomového zatížení $F=2,8 \text{ kN}$ podmínce minimálního lomového zatížení.

pH:

Hodnota pH, naměřená předepsaným způsobem dle normy ČSN EN 12859, byla $\text{pH} = 6$.

Podle této normy spadá vyrobená tvarovka do třídy nízkého pH.

6. DISKUZE VÝSLEDKŮ A NÁVRHY MOŽNÝCH ÚPRAV

Na základě získaných výsledků a zkušeností je možné konstatovat:

- Nejvhodněji zvolený výrobní materiál pro odlev sádrové příčkové tvarovky byla β -sádra komerčně vyráběná firmou Rosomac optimalizovaným poloprovozním způsobem z přerovského chemosádrovce, produkovaného firmou Precheza. Toto sádrové pojivo, vyráběné ze sekundárních zdrojů výroby, dosahující vysoké čistoty, je vhodné jak z důvodů kvality, tak z ekonomických a enviromentálních důvodů.
- Vyrobená poloprovozní forma se ukázala jako vyhovující jak z technologického hlediska výroby tvarovky, tak z hlediska normových požadavků na výsledný produkt. Opakované používání formy nicméně odhalilo nedostatek v podobě surového materiálu, ze kterého jsou vyrobeny bočnice formy. Tím bylo neošetřené dubové dřevo, které pohlcovalo vlhkost z výrobní směsi a po vícenásobném nasáknutí a vysušení jevílo známky deformace v podobě nedoléhavosti jednotlivých částí. Tento problém je však možné odstranit několika způsoby. Jedním z nich je natření neošetřených dřevěných částí hydrofobizační látkou, kde se jako vhodnou jeví přípravek pod označením LUKOFOB, což je roztok silikonové pryskyřice v organickém rozpouštědle, určený k hydrofobizaci nízkoporézních látek. Dalším řešením je volba jiného materiálu, který by vzhledem k vlhkosti nevykazoval nežádoucí objemové změny. Zde se nabízí například plast či hliník nebo jiný kov s povrchovou úpravou z materiálu, který by při kontaktu se síranovým pojivem nekorodoval. Provedení zkušebních odlevů odhalilo další možný nedostatek ve volbě konstrukce s otevřenou horní částí, která se musí upravit seříznutím ocelovou strunou. Tento proces, který byl při laboratorním zkoušení proveden manuálně, zanechal na lícové ploše stopy, které jsou nežádoucí z vizuálního hlediska. Provedení seříznutí strojem, který by vyvinul dostatečný přítlak struny a rychlost seříznutí by však mohl zanechání stop zabránit. Odstranění problému by mohlo spočívat i v opatření konstrukce horní částí, která by udávala povrch výrobku.
- Samostatná tvarovka byla po odlití podrobena zkouškám dle normy ČSN EN 12859, kterým ve většině případů vyhověla, pouze rozměr tloušťky mírně nevyhovoval toleranci předepsané normou. To bylo způsobeno nedokonalým seříznutím povrchu, který přesně nekopíroval výšku hrany formy. Tato závada ovšem spočívala spíše v manuálním

provedení seříznutí. Odlev směsi o konzistenci docílené použitím ztekucovače Melment F10 byl vyhovující, směs dobře vyplnila všechny záhyby formy a tvarovka tak splnila rozměrové a technické požadavky, na horní lícové ploše však byly patrné prohlubně od vzduchových bublinek, které se nepodařilo vypudit setřesením formy. Z vizuální stránky tak byl povrch neideální. Tento nedostatek by bylo možné odstranit použitím účinnějšího plastifikátoru, kterým je například Melflux PP 100F, což je práškový superplastifikátor na bázi polymerizačního produktu glykolu

- Z hlediska ekonomické efektivity je však použití obou výše uvedených plastifikačních přísad poněkud diskutabilní, neboť při ceně cca 150 až 200 Kč/kg a jejich navržené dávce by se výroba tvarovek dosti prodražila. Lze se ale domnívat, že namísto ztekucení by mohlo být technicky i ekonomicky výhodnější řízené provzdušnění sádrové kaše. Při paralelním výzkumu, orientovaném na vývoj maltových směsí, se totiž ukázalo, že nízká dávka provzdušňovací přísady, např. Berolanu, udílí rozmíchaným pojivovým kaším určitou plasticitu a zároveň při požadavku na konstantní konzistenci přispívá ke snížení potřebného množství záměsové vody. Vedle tohoto pozitivního přínosu lze dále předpokládat, že by provzdušnění přispělo i k vylehčení výrobku, a tím zlepšení zvukové, event. i tepelné izolace, odstranění neřízeného vzniku bublin při odlevu tvarovky a patrně i ke zlepšení povrchu tvarovky po seříznutí.

ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byl řešen návrh poloprovodní formy pro výrobu sádrové příčkové tvarovky, její následná výroba a použití pro odlev zkušebního výrobku. U něj byly následně zkoumány jednak vlastnosti jeho provedení a dále ověřovány technické požadavky předepisované normou týkající se sádrových příčkových tvarovek.

Po výrobě formy podle návrhu se tedy přešlo k jejímu vyzkoušení a provedení odlevu ze zvoleného ideálního materiálu, kterým byla β -sádra vyráběná z chemosádrovce. Z výsledků se ukázalo, že je forma vyhovující jednak z technologického hlediska výroby a také z pohledu na výsledné požadované vlastnosti tvarovky.

Bylo nicméně zjištěno i několik nedostatků, jak na konstrukci formy, především co do volby materiálu jednotlivých částí, tak na vyrobené tvarovce, u níž se problém týkal hlavně konzistence. Všechny je však možno eliminovat vhodnou optimalizací.

Možný návrh úpravy formy spočíval především ve volbě jiného materiálu či opatření existujících dřevěných částí hydrofobizačním nátěrem. Optimalizace konzistence směsi byla určena buď výběrem látky, která by měla dostatečné plastifikační účinky, což je ale neadekvátně finančně náročné, nebo zaměřením na řízené provzdušnění paralelně zkoumanou provzdušňovací přísadou, která je ekonomicky efektivnější. To je pravděpodobný směr, kterým se bude ubírat další výzkum.

SEZNAM LITERATURY

- [1] VAVŘÍN, F. *Maltoviny*. Brno: Rektorát vysokého učení technického v Brně, 1980.
- [2] SCHULZE, W., TISCHER, W., ETTTEL, W., LACH, V. *Necementové malty a betony*, Praha: STNL, 1990. ISBN 80-03-00188-9.
- [3] HLAVÁČ, J. *Základy technologie silikátů*, 2. vydání. Praha: STNL, 1988.
- [4] FRIDRICHOVÁ, M. *Maltoviny II – přednášky*. Brno, 2012.
- [5] *Gypstrend: Sádrovcové doly, těžba a zpracování sádrovce* [online] Koberice, 2007. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.gypstrend.cz/?clanek=1>
- [6] WEIGLOVÁ, J. *Možnosti využití energosádrovců a druhotných surovin obsahujících siřičitany pro přípravu kompozitů*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická.
- [7] MASÁROVÁ, A. *Vysokohodnotné síranové spojivá na báze sekundárních surovin*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [8] HÁJKOVÁ, I. *Příprava vysokohodnotného sádrového pojiva*. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [9] TOMANCOVÁ, L. *Využití odpadu a druhotných materiálů jako alternativních surovin a paliv v cementářské výrobě*. In: 12th International conference, Ecology and new buildings materials and products. [online] 2008. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: http://www.vustah.cz/wp-content/uploads/vysledky_vezpom/2008_Tomancova.pdf
- [10] *Nerostné suroviny a jejich využití. Anorganická pojiva – výroba sádry*. [online] 2007. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/anorganicka_pojiva.html#vyrobasad
- [11] ČSN 72 2301 *Sádrová pojiva – Klasifikace; Všeobecné technické požadavky; Zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 1978.
- [12] ČSN EN 13279 *Sádrová pojiva a sádrové malty pro vnitřní omítky*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [13] NYČ, M. *Sádrokarton, stavby a rekonstrukce*. Praha: Grada Publishing, 2002. ISBN 8024790289.
- [14] *Systémy suché výstavby. Sádrovláknité desky FERMACELL* [online] 1999 [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: http://www.fermacell.cz/cz/content/fermacell_sadrovlaknite_desky_vyroba.php

- [15] *Gypstrend: Sádrovcové doly, těžba a zpracování sádrovce* [online] Kobernice 2007. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.gypstrend.cz/?clanek=23>
- [16] *Stavební katalog. Celosádrové příčkovky DONAU GIPS pro přesné zdění* [online] 1988. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.estav.cz/katalog/listy/K2515298.pdf>
- [17] *VG-ORTH POLSKA sp. z o.o, desky MULTIGIPS* [online] 2008. [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.multigips.pl/cze/sciany%20dzialowe%20zalety.html>
- [18] ČSN EN 12859 *Sádrové tvárnice – Definice, požadavky a zkušební metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [19] *Technický list. Melment F10, Stachema*. [online] 2009. [cit. 2013-05-8]. Dostupné z: <http://www.stachema.cz/2/data/produkty/cz/1/MELMENT%20F10.pdf>
- [20] *Product data sheet. Retardan GK, Sika*. [online] 2009. [cit. 2013-05-8]. Dostupné z: http://deu.sika.com/dms/getdocument.get/35e2d186-374c-3249-ad10-37d6eba7bd17/Retardan%20GK%20PDS_UK.pdf.

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Rozdíly mezi přírodním sádrovcem a zatvrdlým produktem

Tab. 2: Třídy sádrových pojiv dle pevnosti v tlaku - ČSN 72 2301

Tab. 3: Hodnoty tepelné vodivosti zatvrdlé sádry dle EN ISO 10456:2007

Tab. 4: Lomové zatížení sádrových tvárnic třídy A dle ČSN EN 12859

Tab. 6: Lomové zatížení sádrových tvárnic třídy R dle ČSN EN 12859

Tab. 7: Přehled vlastností sádrovce Pregips

Tab. 8: Vyhodnocení rozměrů

Tab. 9: Vyhodnocení rovinnosti

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Jednoduchý a zdvojený krystal sádrovce(vlaštovčí ocasy)

Obr. 2: Saharská růže

Obr. 3: Alabastr

Obr. 4: Schéma průběhu mokré desulfatace

Obr. 5: Schéma absorberu

Obr. 6: Schéma vařáku Büttner-Schilde-Haas

Obr. 7: Rošt A.N. Knaufa

Obr. 8: Sušicí mlýn Claudius-Peters

Obr. 9: Schéma dehydrátoru

Obr. 10: Zkušební zařízení na stanovení pevnosti v tahu za ohybu

Obr. 11: Půdorysný náčrt formy s rozměry v milimetrech

Obr. 12: Řezy bočnicemi formy s rozměry v milimetrech

Obr. 13: Nesmontované bočnice formy

Obr. 14: Pohled na výslednou tvárnici

Obr. 15: Forma po několika použitích

Obr. 16: Výsledný produkt - stopy po seříznutí na lícové ploše